

## V TOMTO SEŠITĚ

Digital se představuje ..... 161

### OBVODY PRO NAPÁJECÍ ZDROJE

#### LINEÁRNÍ STABILIZÁTORY

##### Standardní stabilizátory

##### Stabilizátory s pevným

##### výstupním napětím

Obvody pro kladná výstupní napětí

..... 165

Obvody pro záporná výstupní napětí

..... 169

Obvody pro symetrická výstupní na-

pětí ..... 169

##### Stabilizátory s nastavitelným

##### výstupním napětím

Obvody pro kladná výstupní napětí

..... 170

Obvody pro záporná výstupní napětí

..... 173

Obvody pro symetrická výstupní na-

pětí ..... 173

##### Stabilizátory s malým úbytkem

##### napětí

Obvody pro kladná výstupní napětí

..... 174

### Nabíječka aku s automatikou ....195

### Pásmová zadrž s neideální indukčností (k č. 2/97 Konstrukční elektroniky) .....199

## KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO

**Vydavatel:** AMARO spol. s r. o.

**Redakce:** Dlážďená 4, 110 00 Praha 1, tel.: 24 21 11 11 - I. 295, tel./fax: 24 21 03 79.

Šéfredaktor Luboš Kalousek, sekretářka redakce Tamara Trnková.

**Ročně vychází** 6 čísel. Cena výtisku 25 Kč. Pololetní předplatné 75 Kč, celoroční předplatné 150 Kč.

**Rozšiřuje** PNS a. s., Transpress s. s. r. o., Mediaprint a Kapa, soukromí distributoři, informace o předplatném podá a objednávky přijímá Amaro s. s. r. o., Dlážďená 4, 110 00 Praha 1, tel./fax 24 21 1111, I. 284, PNS, pošta, doručovatel.

**Objednávky a předplatné** v Slovenskej republike vybavuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., P. O. BOX 169, 830 00 Bratislava, tel./fax (07) 5254559 - předplatné, (07) 5254628 - administrativní. Předplatné na rok 165,- SK.

Podávání novinových zásilek povolila Česká pošta s. p., OZ Praha (čj. nov 6028/96 ze dne 1. 2. 1996).

**Inzerce** přijímá redakce ARadio, Dlážďená 4, 110 00 Praha 1, tel.: 24 21 11 11 - linka 295, tel./fax: 24 21 03 79.

**Inzerce v SR** vyřizuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, 821 02 Bratislava, tel./fax (07) 5254628.

Za původnost a správnost příspěvků odpovídá autor. Nevyžádané rukopisy nevracíme.

**E-mail:** a-radio@login.cz

**Internet:** http://www.spinnet.cz/aradio

**ISSN 1211-3557**

© AMARO spol. s r. o.

# digital se představuje

Jedním z rozhodujících činitelů pro rozvíjení úspěšných podnikatelských záměrů na současném trhu informačních technologií je bezesporu schopnost jednotlivých subjektů chápat a akceptovat momentální situaci. Firmy dnes musí mnohem obezřetněji sledovat požadavky trhu, co nejpřesněji odhalovat trendy dalšího vývoje a především podle těchto údajů velmi pružně korigovat svoje aktivity. Ne každému z významných dodavatelů informačních technologií dovoluje jeho funkční struktura optimálně vyhovět náročným požadavkům moderního trhu. Společnost DIGITAL urazila za poslední 2 až 3 roky velký kus cesty k tomu, aby byla nejen jednou z největších firem ve svém oboru, ale aby byla současně schopna a ochotna pružně měnit zaměření činnosti podle požadavků svých zákazníků. Vyústěním této snahy je i principiálně nová strategie, kterou vedení firmy formulovalo koncem loňského roku. Naše česká pobočka DIGITAL iniciativně implementovala hlavní teze strategie do svého funkčního modelu i nové organizační struktury tak, abychom mohli co nejefektivněji poskytovat kvalitní služby zákazníkům (Bohuslav Cempírek, Digital Equipment s.r.o. z článku Klíčem je schopnost přizpůsobení).

Celá strategie firmy stojí na třech základních pilířích, kterými jsou:

- mise společnosti DIGITAL,
- definované technologické platformy,
- cílené strategické segmenty trhu.

1. Nová mise sice velmi stručně, ale přesně a výstižně postihuje hlavní teze celé filosofie, na které je nová koncepce všech činností firmy postavena: DIGITAL se soustřeďuje na dodávky síťových uživatelských řešení realizovaných společně s našimi part-

nery a založených na profesionálních službách a výkonné počítačové technologii.

2. Mise se opírá o tři technologické oblasti, které jsou definovány jako hlavní podporované platformy pro další růst společnosti:

- velmi výkonný 64bitový UNIX,
- Windows NT v prostředí podnikových informačních technologií,
- Internet jako komunikační nástroj uvnitř podniků i mezi nimi navzájem.

Je třeba připomenout, že DIGITAL nadále důrazně dbá na podporu svých zákazníků používajících prostředí OpenVMS, které bude i v budoucnu rozvíjeno jako čtvrtá technologická platforma pro implementace nejnáročnějších informačních systémů.

3. Strategie rozpracovává devět hlavních segmentů trhu, v nichž chce DIGITAL získat významný tržní podíl při uplatňování těchto technologických platform:

- Datové sklady.
- Systémy s velkou spolehlivostí.
- Podnikové aplikace.
- Vizualizace.
- Integrace Windows NT.
- Mail and Messaging.
- Internet/Komerční Internet/Služby pro Internet.

Této strategii DIGITAL jak celosvětově, tak i lokálně výrazně přizpůbil i svoji prodejní a servisní organizaci. DIGITAL nikdy neměl problémy s technickou a technologickou úrovní svých produktů a řešení. Výrobky DIGITAL dodávané na trh představují absolutní špičku hned v několika oblastech. Nyní k technologickým přednostem přidala společnost jasnou obchodní a marketingovou strategii s dlouhodobou perspektivou, která sebou nese také kvalitativně nový přístup k uspokojování potřeb a řešení problémů zákazníků.



Digital Equipment Corporation se uplatňuje úspěšně i v oblasti vojenského a civilního letectví

## Platformy růstu firmy DIGITAL

### 64bitový UNIX

DIGITAL byl průkopníkem v oblasti 64bitového UNIX a jako první začal před třemi lety tuto výkonnou platformu nabízet zákazníkům. Dnes má na tomto trhu vedoucí postavení. Řešením založeným na 64bitovém UNIX míří DIGITAL zejména do tří primárních tržních segmentů: datové sklady (data warehousing), systémy s vysokými nároky na spolehlivost (continuous computing) a celopodnikové aplikace (enterprise applications). Přitom kombinace UNIX + technologie Alpha nabízí mimořádně velký výkon ve všech cenových úrovních.

V současné době je pro 64bitový DIGITAL UNIX k dispozici více než 5600 optimalizovaných aplikací.

### INTERNET

DIGITAL jako přední firma v oblasti síťových výpočetních systémů chce dále rozšiřovat obrat své divize Internet Business Solutions, která působí v této bouřlivě se rozvíjející oblasti. S Internetovou platformou míří DIGITAL do tří oblastí:

- intranet,
- obchodování po Internetu a
- produkty pro poskytovatele připojení na Internet.

DIGITAL nabízí v současné době jak nejrychlejší Internetové služby, tak nejmodernější technologii Internet Protocol switching. Špičkové řešení bezpečnosti, přístupu k informacím a podpory spolupráce přináší řada softwarových produktů, které jsou populární mezi uživateli pod názvem AltaVista.

### Windows NT

Windows NT hrají důležitou roli v osmi z devíti cílových oblastí trhu, zejména pak v elektronické poště a předávání zpráv, v integraci Windows NT, ve visual computing a v celopodnikových aplikacích. Zajímavé je, že DIGITAL má přibližně 2000 Microsoftem certifikovaných inženýrů, což je mnohem více, než má kterákoli jiná firma včetně Microsoftu; současně může nabídnout jako jediná firma pro Windows NT dvě hardwarové platformy. Výsledkem je tak široká nabídka výkonu, kapacity a rozšiřitelnosti systémů, jaké se ostatní firmy v oboru nemohou ani přiblížit.

Vnitřní příbuznost mezi Windows NT a OpenVMS je i jádrem využitelnosti kvalitního operačního systému OpenVMS. DIGITAL tím spojuje stávající přednosti OpenVMS s narůstající silou Windows NT do jednoho výpočetního prostředí. Platforma OpenVMS je přítomna v několika cílových segmentech trhu (např. celopodnikové aplikace, datové sklady a inte-



*HiNote VP 500 MMX, procesor Pentium 120, popř. 133 MHz, popř. Pentium MMX 166 MHz, 256 KB cache, EDO RAM 16 MB rozšiřitelná na 80 MB, pasivní DSTN nebo aktivní TFT displej 12,1", pevný disk 1, 1,4, 2,1 MB uživatelsky výměnný, Windows 95, Windows NT 4.0, ClientWorks*

grace NT) a je volitelným prostředím pro řadu nejnáročnějších řešení.

Dokonalá dostupnost, integrita, bezpečnost a rozšiřitelnost OpenVMS ho činí přirozeným řešením nejvyšší úrovně třívrstvé architektury klient-server. Open VMS poskytuje s ověřenou dostupností 24 hodin a 365 dnů v roce a mnohačetnými clusterly vzdálenými od sebe až 800 km spolehlivou ochranu před plánovanými i neplánovanými odstaveními systému. Díky 64bitové architektuře, podpoře VLM a až 96uzlových clusterů jsou systémy s OpenVMS s to přizpůsobit se požadkům velkých celopodnikových aplikací na výkon, dostupnost a práci s velkými objemy dat.

Všechny hlavní platformy, které DIGITAL podle své strategie podporuje, poskytují čtyři klíčové přednosti síťovým podnikovým systémům:

- spolehlivost při podpoře kritických procesů,
- kapacita a rozšiřitelnost (instalovaná řešení nemusí být nahrazena, pokud vzrostou nároky na ně kladené),
- skutečný výkon pro aplikace, spíše než úzce číselně deklarovaný a definovaný „benchmarkový“ výkon,
- integrace se stávajícími systémy.

*Podle článku Roberta Čížka,  
DIGITAL News jaro 1997*

*Osobní pracovní stanice (Personal Workstation)  
„a-série“ (Alpha),  
max. kapacita paměti až 384 MB SDRAM, možnost volby procesoru Alpha 443 a 500 MHz,  
2 sériové, 2 USB,  
jeden paralelní a bi-direkcionální port,  
8x EIDE CD-ROM,  
integrované  
16bitové audio, PCI grafika*





# OBVODY PRO NAPÁJECÍ ZDROJE

Karel Bartoň

**Protože snad každé elektronické zařízení potřebuje nějaký druh napájení, jsou dnes obvody pro napájecí zdroje v elektronice nejpoužívanějšími součástkami. Ať se jedná o napájení z elektrovedné sítě nebo o bateriové napájení, téměř vždy je třeba napětí z uvedených zdrojů nějakým způsobem upravit (stabilizovat, zvětšit, zmenšit, upravit na symetrické z nesymetrického, získat napětí opačné polarity, popř. dobíjet napájecí články). K uvedeným a mnoha dalším doplňkovým funkcím jsou určeny dále popisované obvody.**

Tato práce si klade za cíl ve dvou pokračováních (ve dvou číslech Konstruktérské elektroniky) podat ucelený přehled v současné době dostupných integrovaných obvodů pro použití při konstrukci napájecích zdrojů. U každého obvodu nebudou chybět základní technické parametry, zapojení pouzdra a aplikační zapojení - důraz je kladen zejména na praktická zapojení. Při výběru integrovaných obvodů jsem dával přednost modernějším typům, které vyžadují k činnosti minimum externích součástek. Snahou bylo vytvořit co nejpraktičtější publikaci, v níž by konstruktér, který ví, co potřebuje, našel „svoje“ zapojení, nebo alespoň cestu k řešení příslušného problému - více místa je tedy věnováno současné praxi než teorii. Navíc základní principy činnosti obvodů se nemění a k podrobnému studiu mohou sloužit starší články a publikace či učebnice. Podrobněji jsou popsány pouze obvody, zapojení a techniky, které u nás dosud nebyly v širší míře publikovány.

K praktické stránce návrhu bych však rád ještě podotknul, že u daného konkrétního problému téměř vždy existuje několik cest a výsledných řešení. Záleží tedy na konstruktérovi, na jeho schopnostech, zkušenostech, invenci (a ovšem i na teoretických znalostech), nakolik bude výsledek jeho práce odpovídat vynaloženému úsilí a nákladům.

Na dalších stránkách budou popsány nejprve standardní, běžně užívané a rozšířené lineární stabilizátory pro

kladná a záporná výstupní napětí. Jejich základní zapojení jsou doplněna o několik méně známých zapojení, rozšiřujících možnosti a flexibilitu těchto obvodů (rozšíření rozsahu vstupních i výstupních napětí a proudů, regulace od nuly, ochranné obvody apod.).

Následuje popis lineárních stabilizátorů s malým úbytkem napětí mezi vstupem a výstupem (tzv. Low Dropout), které zřejmě časem nahradí výše uvedené standardní stabilizátory. Tento druh stabilizátorů se zatím uplatňuje nejvíce v zařízeních, napájených z baterií, v nichž podstatně prodlužují dobu života napájecích článků. Špičkové obvody tohoto druhu jsou schopné pracovat a na výstupu dodávat jmenovité stabilizované napětí ještě při rozdílu mezi vstupním a výstupním napětí řádu desítek milivoltů. Navíc bývají tyto stabilizátory doplněny interními obvody k realizaci mnoha užitečných doplňkových funkcí.

Dále bude pozornost věnována spínaným regulátorům a zejména jejich aplikacím. Nesporné výhody těchto regulátorů, zejména jejich velká účinnost oproti lineárním typům (vyhovující i celosvětovému trendu v úsporách energie) vedou k jejich masovému používání. Aplikace moderních typů těchto stabilizátorů je stále snažší a počet nutných externích součástek se stále více omezuje - některé z nich mají uvnitř pouzdra integrovanu i cívku (indukčnost) - takže vně se připojují pouze blokové a filtrační

kondenzátory a zapojení se vlastně ani příliš neliší od zapojení s běžnými lineárními typy. Také jejich cena, díky velkým vyráběným sériím a dokonale zvládnuté výrobní technologii, bývá někdy až překvapivě nízká.

V souvislosti se spínanými regulátory bych rád na tomto místě upozornil na spínané regulátory typu Offline, které by si rozhodně zasloužily větší pozornost našich konstruktérů. Např. u řady TOP-Switch jde o spínané regulátory s pulsně šířkovou modulací (PWM), pracující se vstupním napětím, které je získáno přímým usměrněním síťového napětí. Obvody sdružují v třívývodovém pouzdru TO-220 kompletní řídicí elektroniku včetně výkonového spínacího prvku a obvodů ochrany. Použití těchto obvodů konstrukci spínaných zdrojů dále zjednodušuje a získáme i nezanedbatelnou finanční úsporu (síťový transformátor většího výkonu stojí dnes nejméně několik set korun).

Dále budou uvedeny programy pro návrh spínaných zdrojů i např. pro obvody typu TOP-Switch.

Následovat bude přehled zdrojů referenčního napětí a zdrojů konstantního proudu včetně praktických zapojení, popis obvodů a zapojení pro korekci účinnosti a stručný popis dohledových (supervisor) obvodů pro monitorování a řízení napětíových poměrů v systémech s mikroprocesory.

Protože se stále zvětšuje počet výrobků spotřební elektroniky, napájených z akumulátorů, a následně i obliba a potřeba nabíječek, věnujeme pozornost i integrovaným obvodům, určeným k řízení nabíjecího cyklu různých druhů akumulátorů (NiCd, NiMH, Lead-Acid, Li-Ion).

Zcela na závěr si pak uvedeme další zajímavé obvody, které mají nějakou souvislost s napájecími zdroji, které nebyly zařazeny do předchozích kategorií, a odkazy na literaturu, z níž autor čerpal - pro možné další podrobnější studium celé problematiky.

## Nejčastěji používané výrazy a zkratky

Protože je naprostá většina katalogů a jiných dostupných údajů v angličtině, uvedeme si nejdříve několik základních výrazů, parametrů a zkratk, s nimiž se můžeme v literatuře setkat, a uvedeme si, které a jak budeme používat.

**Adj., Adjust., adjustable** - nastavení, nastavitelný, nastavovací, regulovatelný

**Battery charging management circuits** - obvody k řízení nabíjení článků

**Boost Converter** - viz Step-Up Converter

**Buck Converter** - viz Step-Down Converter

**CTR, Current Transfer Ratio** - činitel proudového přenosu, ve spojitosti s optoelektronickými články údaj, vyjadřující poměr proudu výstupní součástky optoelektrického článku k proudu světlo emitující diody (LED) na vstupu; bývá uváděn v procentech při specifikovaném vstupním proudu článku

**Current-Mode PWM Control** - technika pulsně šířkové modulace se dvěma zpětnovazebními smyčkami; vnitřní smyčka snímá proud, procházející cívkou (indukčností) a vnější smyčka snímá výstupní napětí, jehož velikost slouží jako reference pro řízení vnitřní smyčky. Proudová zpětná vazba zlepšuje ve všech topologiích měničů stabilitu řídicí smyčky a dynamické chování zdroje jak při změnách zátěže, tak při změnách vstupního napětí

**Delayed RESET** - zpožděný signál reset, jehož stav trvá o určitou dobu - zpravidla nastavitelnou externě - déle než příčina, která jej vyvolala

**Discharge** - vybití

**EMC** - Electromagnetic compatibility - elektromagnetická slučitelnost. Vlastnosti elektrických nebo elektronických zařízení, podle nichž jsou tato zařízení posuzována nejen jako zdroje vyzařující rušivé signály, ale i jako přijímače rušení

**EMI** - Electromagnetic interference - elektromagnetické rušení. Elektromagnetická energie, vyzařovaná elektrickým zařízením, negativně působící na vlastnosti jiných elektrických zařízení

**EMI Filter** - odrušovací filtr, EMI je zkratka Electromagnetic Interference, elektromagnetické rušení

**EMS** - Electromagnetic susceptibility - elektromagnetická odolnost. Odolnost zařízení proti působení vnější nežádoucí elektromagnetické energie

**ESR** - ekvivalentní sériový odpor, sériová odporová složka impedance kondenzátoru

**Fixed Regulator** - stabilizátor s pevným výstupním napětím

**Flyback Converter** - jednočinný blokující měnič - jednocestný měnič s diodou ve zpětném směru

**Foldback Current Limiting** - proudové omezení se zpětným ohybem zatěžovací charakteristiky

**Forward Converter** - jednočinný měnič v propustném zapojení - s diodou v přímém směru

**Charge** - nabíjení

**Charge pump** - měnič napětí, pracující na principu nábojové pumpy (k ukládání a přenosu elektrické energie se používají místo cívek kondenzátory)

**IET** - Incomplet Energy Transfer - neúplný (nekompletní) přenos energie transformátorem, kdy se určitá část přenášené energie akumuluje v magnetickém poli transformátoru až do další periody - při přerušovaném režimu

**IN, Input** - vstup, vstupní svorka nebo veličina

**Isolation Leakage Current** - svodový proud izolačního obvodu, jehož vstupní svorky jsou vzájemně zkratovány a mezi takto propojený vstup a výstup je přiloženo napětí specifikované velikosti

**Isolation Voltage** - izolační napětí mezi vstupem a výstupem obvodu

**Li-Ion** - lithiový článek (Lithium-Ion)

**Load, Load current** - zátěž, proud do zátěže

**Low Dropout Regulator, Low-Drop, LDO** - napětíový regulátor, schopný pracovat s malým rozdílovým napětím mezi vstupem a výstupem, obvykle mnohem menším, než je nutné pro uspokojivou činnost standardních sériových regulátorů. To umožňuje použít menší vstupní napětí, čímž se zvětšuje účinnost

**Mirror-Image Insertion Protection** - ochrana obvodu při jeho obráceném vložení do desky

**NiCd** - niklokadmiový článek (Nickel-Cadmium)

**NiMH** - niklohydridový článek (Nickel-Metal-Hydride)

**Optocoupler, Optically Coupled Isolator, Photocoupler** - optoelektronický článek, obvod, navržený pro přenos elektrických signálů využitím světelné energie. Tyto obvody umožňují galvanicky oddělit signály mezi vstupem a výstupem

**OUT, Output** - výstup, výstupní svorka nebo veličina

**Pin** - vývod

**Primary Winding, P. Current** - primární vinutí, proud primárním vinutím

**Push-Pull Operation** - dvoučinné zapojení. Zapojení, v němž je symetrické primární vinutí transformátoru buzeno spínacími tranzistory ve dvoučinném zapojení (tranzistory vedou střídavě, pracují v protitaktním režimu)

**PWM, Pulse Width Modulation** - pulsně šířková modulace. Technika spínaných regulátorů, při níž se regulace realizuje změnou délky cyklu sepnutí výkonové spínací součástky

**Secondary Winding, S. Current** - sekundární vinutí, proud sekundárním vinutím

**Shutdown** - elektronické vypnutí obvodu. Obvod může být vypnut vnějším elektrickým signálem nebo aktivací vnitřních ochranných obvodů

**SLA** - těsný olověný článek (Sealed Lead-Acid)

**Step-Down Converter** - spínaný měnič, zmenšující vstupní napětí

**Step-Up, Step-Down Converter** - spínaný měnič, schopný pracovat v obou režimech

**Step-Up Converter** - spínaný měnič, zvětšující vstupní napětí

**Switching Converter** - spínaný měnič

**Time Delay** - doba zpoždění

**Tracking Regulator** - stabilizátor s vlečnou regulací

**UVLO, Undervoltage Lockout** - odpojení při podpětí. Ochranný obvod, chránící spínací součástku před nadměrnou výkonovou ztrátou při zmenšení vstupního napětí pod určitou mez

**V<sub>DO</sub>, Dropout Voltage** - rozdílové napětí mezi vstupní a výstupní svorkou regulátoru

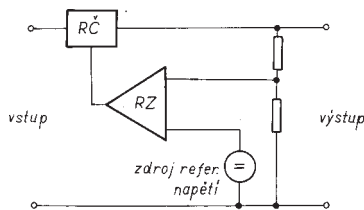
**Voltage-Mode Control** - technika používaná při pulsně-šířkové modulaci, skládající se z jedné zpětnovazební smyčky, která řídí výstupní napětí porovnáváním s pevným referenčním napětím

# LINEÁRNÍ STABILIZÁTORY

Monolitické lineární stabilizátory jsou do dnešní doby snad nejpoužívanějšími typy regulátorů vůbec. Značně oblibě se těší díky své snadné aplikovatelnosti, což platí zejména u třísvorkových typů, u nichž je třeba jen minimum vnějších součástek. K jejich rozšíření přispěla též snadná dostupnost a především cena. Největší nevýhodou, která zejména v současnosti vystupuje do popředí, je poměrně velká výkonová ztráta na regulační součástce a v důsledku toho malá energetická účinnost. Tato nectnost je částečně omezena u typů zhotovených novou technologií, s malým úbytkem napětí (Low Dropout) na regulačním tranzistoru, jejichž plná funkce je zajištěna i při velmi malém rozdílovém napětí mezi výstupem a vstupem.

Monolitické lineární stabilizátory pracují ve spojitém režimu v naprosté většině jako sériové regulátory se zpětnou vazbou. Blokové zapojení, z něhož je dobře patrný princip činnosti takového regulátoru, je na obr. 1.

Je v něm obsažen rozdílový zesilovač RZ, zdroj referenčního napětí a odporový dělič, který zde funguje jako snímač odchylky výstupního napětí od jmenovité velikosti. Z odporo-



Obr. 1. Blokové zapojení stabilizátoru se zpětnou vazbou (RČ - regulační člen, RZ - rozdílový zesilovač)

vého děliče je část výstupního napětí přivedena na jeden vstup rozdílového zesilovače RZ, přičemž druhý vstup je připojen na vnitřní zdroj referenčního napětí. Tato dvě napětí jsou rozdílovým zesilovačem porovnávána a v závislosti na velikosti odchylky je výstupem rozdílového zesilovače řízen regulační člen RČ, zapojený v sérii mezi vstupní a výstupní svorkou regulátoru.

Lineární regulátory je zhruba možno rozdělit na typy standardní a typy s malým úbytkem napětí - Low Drop, na regulovatelné a s pevně nastavenou velikostí výstupního napětí, a podle polarity výstupního napětí - pro kladná, záporná nebo symetrická výstupní napětí. Podle těchto kategorií jsou v této kapitole popisované monolitické lineární regulátory rozříděny.

## Standardní stabilizátory

### Stabilizátory s pevným výstupním napětím

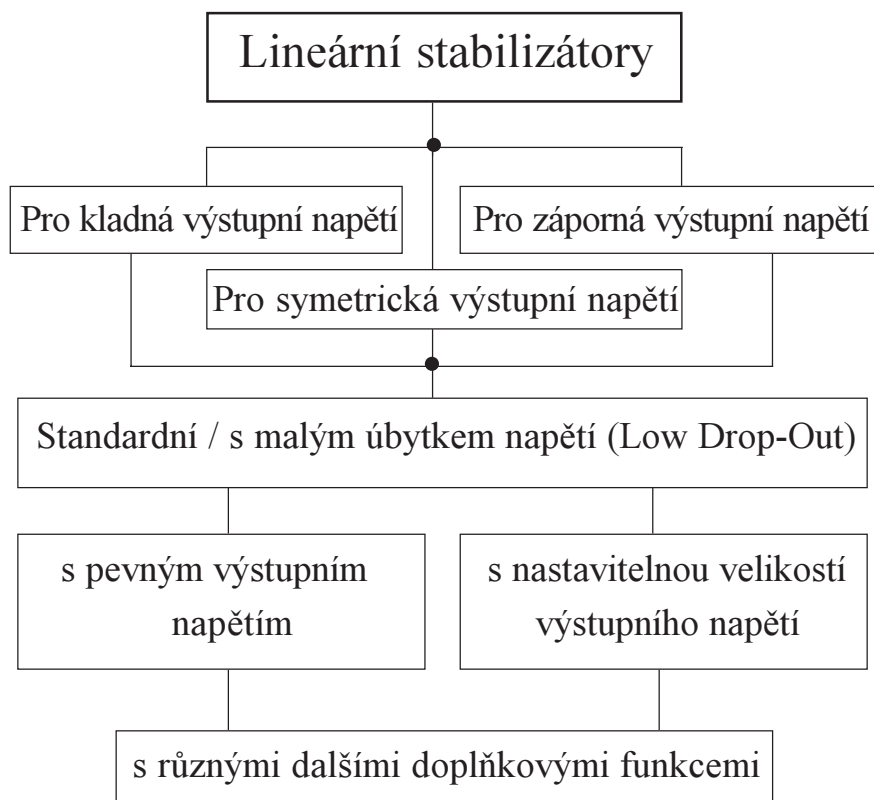
#### Obvody pro kladná výstupní napětí

Přehled základních řad  $\mu A78XX$ ,  $\mu A78MXX$ ,  $\mu 78LXX$  a dalších nejčastěji používaných typů včetně jejich základních parametrů, je v tab. 1. Údaje, uvedené jak v této, tak i v následujících tabulkách, byly získány převážně z technické dokumentace firem Texas Instruments, National Semiconductor, Motorola a SGS Thomson a mohou se u jiných výrobců nepatrně lišit. Též prefix - první dvě písmena v označení - bývají různá podle výrobce, nejčastěji to však bývá „ $\mu A$ “, kteréžto označení převzala většina firem od jednoho z prvních výrobců těchto obvodů, firmy Fairchild. (Prefix TL - Texas Instruments, L - SGS Thomson, MC - Motorola, LM - National Semiconductor, LT - Linear Technology).

Všechny tyto stabilizátory jsou tzv. třísvorkové typy, s jednou elektrodou vstupní, jednou výstupní a jednou společnou.

Základní řada obvodů 78XX s výstupním proudem větším než 1 A byla na základě potřeb výrobců a vývoje elektronických zařízení postupem času rozšířena o další modifikované typy jak pro větší, tak i pro menší výstupní proudy. Tak vznikla řada 78SXX pro výstupní proud 2 A, řada 78TXX pro výstupní proud 3 A, a naproti tomu řada 78MXX pro výstupní proud 0,5 A a řada 78LXX pro výstupní proud 0,1 A. →

→ Pro základní přehled, jak je toto číslo uspořádáno, slouží následující diagram:



A nyní k dále používané symbolice. Protože naprostá většina katalogů výrobců i prodejců používá anglickou symboliku, rozhodli jsme se pro ni též, především proto, aby se zájemci mohli v originálních katalozích bezpečně a bez problémů orientovat - s jedním zásadním rozdílem: místo běžného  $V_{IN}$ ,  $V_{OUT}$  atd. používáme pro napětí všude zásadně symbol  $U$ ;

IN (input) - vstup,  $U_{IN}$  - vstupní napětí,

OUT (output) - výstup,  $U_{OUT}$  - výstupní napětí,

GND (ground) - „zem“,

$R_{SC}$  ( $R_{SENSE}$ ) - snímací rezistor,

SENSE - vývod IO, na nějž se přivádí snímaná veličina (napětí, proud atd.),

SHUTDOWN - vývod IO pro elektrické vypnutí obvodu,

ADJ. či adj. (adjust) - nastavovací vývod,

REF,  $U_{REF}$  (reference) - referenční (napětí),

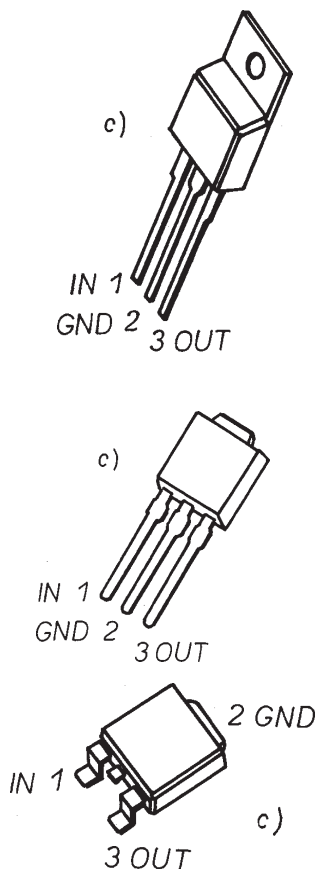
$U_{DROP}$  - úbytek napětí na stabilizátoru.



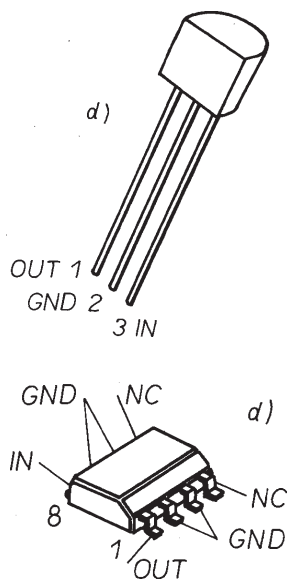
Tab. 1. Standardní stabilizátory s pevným výstupním napětím kladné polarity

Typ	$U_{\text{výst. min.}}$ [V]	$U_{\text{výst. jmen.}}$ [V]	$U_{\text{výst. max.}}$ [V]	$I_{\text{výst. max.}}$ [mA]	$I_q$ typ [mA]	Dropout typ. [V]	Dropout max. [V]	$U_{\text{vst. max.}}$ [V]	Výrobce
$\mu$ A7805	4,75	5	5,25	1500	4,2	2	3	25	TI
$\mu$ A7806	5,7	6	6,3	1500	4,3	2	3	25	TI
$\mu$ A7808	7,6	8	8,4	1500	4,3	2,5	3	25	TI
$\mu$ A7810	9,6	10	10,4	1500	4,3	2,5	3	28	TI
$\mu$ A7812	11,4	12	12,5	1500	4,3	2,5	3	30	TI
$\mu$ A7815	14,25	15	15,75	1500	4,4	2,5	3	30	TI
$\mu$ A7818	17,1	18	18,9	1500	4,5	3	3	33	TI
$\mu$ A7824	22,8	24	25,2	1500	4,6	3	3	38	TI
$\mu$ A7885	8,1	8,5	8,9	1500	4,3	2	3	25	TI
TL780-05	4,9	5	5,1	1500	5	2	3	25	TI
TL780-12	11,76	12	12,24	1500	5,5	2,5	3	30	TI
TL780-15	14,7	15	15,3	1500	5,5	2,5	3	30	TI
MC78T05	4,75	5	5,25	3000	4	2,2	2,5	35	MOT
MC78T08	7,6	8	8,4	3000	4	2,2	2,5	35	MOT
MC78T12	11,4	12	12,6	3000	4	2,2	2,5	35	MOT
MC78T15	14,25	15	15,75	3000	4	2,2	2,5	40	MOT
L78S05	4,75	5	5,25	2000	8	-	3	35	Thomson
L78S75	7,1	7,5	7,95	2000	8	-	3	35	Thomson
L78S09	8,6	9	9,4	2000	8	-	3	35	Thomson
L78S10	9,4	10	10,6	2000	8	-	3	35	Thomson
L78S12	11,4	12	12,6	2000	8	-	3	35	Thomson
L78S15	14,25	15	15,75	2000	8	-	3	35	Thomson
L78S18	17	18	19	2000	8	-	3	35	Thomson
L78S24	22,8	24	25,2	2000	8	-	3	40	Thomson
$\mu$ A78M05	4,75	5	5,25	500	4,5	2	3	25	TI
$\mu$ A78M06	5,7	6	6,3	500	4,5	2	3	25	TI
$\mu$ A78M08	7,6	8	8,4	500	4,6	2,5	3	25	TI
$\mu$ A78M09	8,5	9	9,5	500	4,6	2,5	3	26	TI
$\mu$ A78M10	9,5	10	10,5	500	4,6	2,5	3	28	TI
$\mu$ A78M12	11,4	12	12,6	500	4,8	2,5	3	30	TI
$\mu$ A78M15	14,25	15	15,75	500	4,8	2,5	3	30	TI
$\mu$ A78M20	19	20	21	500	4,9	3	3	35	TI
$\mu$ A78M24	22,8	24	25,2	500	5	3	3	38	TI
$\mu$ A78L02	2,35	2,6	2,85	100	3,6	1,7	-	20	TI
$\mu$ A78L02A	2,45	2,6	2,75	100	3,6	1,7	-	20	TI
$\mu$ A78L05	4,5	5	5,5	100	3,8	1,7	3	20	TI
$\mu$ A78L05A	4,75	5	5,25	100	3,8	1,7	3	20	TI
$\mu$ A78L06	5,6	6,2	6,8	100	3,9	1,7	3	20	TI
$\mu$ A78L06A	5,9	6,2	6,5	100	3,9	1,7	3	20	TI
$\mu$ A78L08	7,2	8	8,8	100	4	1,7	3	23	TI
$\mu$ A78L08A	7,6	8	8,4	100	4	1,7	3	23	TI
$\mu$ A78L09	8,1	9	9,9	100	4,1	1,7	3	24	TI
$\mu$ A78L09A	8,55	9	9,45	100	4,1	1,7	3	24	TI
$\mu$ A78L10	9	10	11	100	4,2	1,7	3	25	TI
$\mu$ A78L10A	9,5	10	10,5	100	4,2	1,7	3	25	TI
$\mu$ A78L12	10,8	12	13,2	100	4,3	1,7	3	27	TI
$\mu$ A78L12A	11,4	12	12,6	100	4,3	1,7	3	27	TI
$\mu$ A78L15	13,5	15	16,5	100	4,6	1,7	3	30	TI
$\mu$ A78L15A	14,25	15	15,75	100	4,6	1,7	3	30	TI

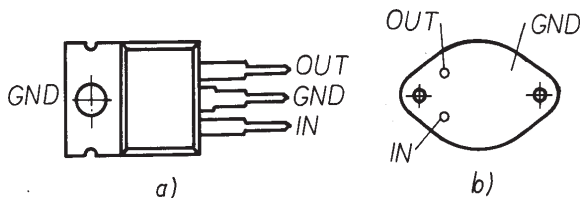
Obr. 2ab. Vývody 78XX z pouzder TO-220 (pohled shora) a TO-3 (pohled zdola)



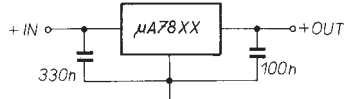
Obr. 2c. Vývody z plastových pouzder 221A (78XX se suffixem T), z pouzder DPAK (78XX se suffixem DT1-pouzdro 369 a se suffixem DT-pouzdro 369A)



Obr. 2d. Vývody 78XX z plastových pouzder TO-92 (suffix P) a 751 (SOP-8, suffix D)

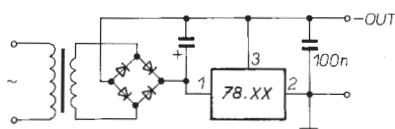


častěji užívaných pro řadu 78LXX je na obr. 2d.



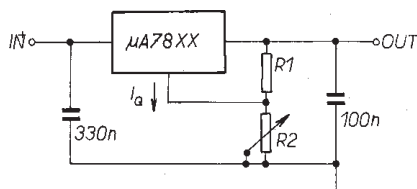
Obr. 3. Základní zapojení regulátoru s pevným kladným výstupním napětím

Jejich základní aplikační zapojení je na obr. 3. Obvody jsou navrženy pro stabilizaci napětí kladné polarity, což však nevylučuje možnost jejich využití pro stabilizaci záporného napětí ve zdroji s plovoucím



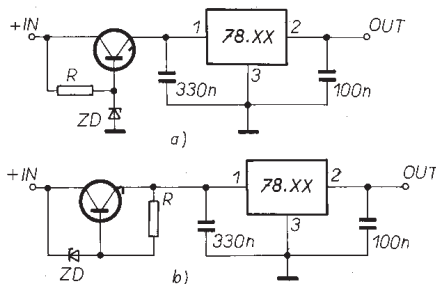
Obr. 4. Zapojení regulátoru s pevným záporným výstupním napětím

vstupem v zapojení podle obr. 4. Rovněž, ačkoli je jejich výstupní napětí nastaveno ve výrobním procesu na předem danou velikost, je možno velikost výstupního napětí plynule regulovat tak, jak je to ukázáno na obr. 5.

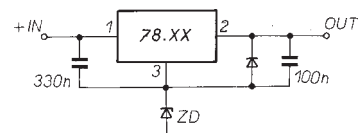


Obr. 5. Základní zapojení regulátoru s nastavitelným výstupním napětím. Je-li  $U_{XX}$  jmenovité výstupní napětí (vzhledem ke společné „zemi“) integrovaného stabilizátoru, je výstupní napětí  $U_{OUT}$

$$U_{OUT} = U_{XX} + ((U_{XX}/R_1) + I_Q)R_2$$

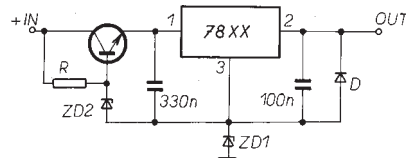


Obr. 6. Zapojení regulátoru s velkým vstupním napětím,  $U_{IN} = U_{ZD} - U_{BE}$  (a),  $U_{IN} = U_i - (U_{ZD} + U_{BE})$  (b)



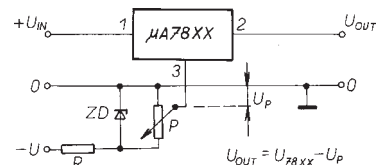
Obr. 7. Regulátor s velkým výstupním napětím

Pokud je vstupní napětí větší než maximální vstupní napětí stabilizátoru, je možno předřadit stupeň s tranzistorem a Zenerovou diodou podle obr. 6a nebo 6b. Naopak, při požadovaném výstupním napětí větším než je výstupní napětí stabilizátoru, zapojíme stabilizátor podle obr. 7. Velikost výstupního napětí v tomto zapojení je dána součtem napětí stabilizátoru plus napětí na Zenerově diodě ZD. Při současném požadavku většího vstupního i výstupního napětí použijeme zapojení obvodu podle obr. 8, což je vlastně kombinace předchozích dvou úprav.



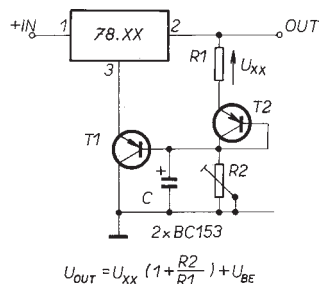
Obr. 8. Regulátor s velkým vstupním i výstupním napětím,  $U_{OUT} = U_{XX} + U_{ZD1}$

Zmenšení výstupního stabilizovaného napětí, případně možnosti jeho plynulé regulace od nuly, dosáhneme zapojením podle obr. 9. Zenerova dioda ZD je zde přes rezistor R napájena ze zdroje pomocného záporného napětí  $-U$ . Výstupní napětí obvodu se potom rovná rozdílu výstupního napětí stabilizátoru minus napětí přivedené z běžce potenciometru P na společnou svorku (3 - COM) monolitického stabilizátoru. Pro pevné výstupní napětí je samozřejmě možno potenciometr P nahradit odporovým děličem.



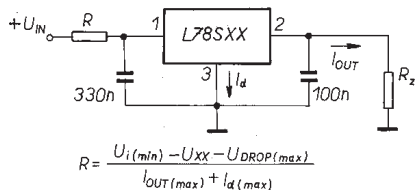
Obr. 9. Regulátor s nastavitelným výstupním napětím

Zapojení s kompenzací teplotního driftu výstupního napětí a s plynulou regulací je na obr. 10. K vlastní teplotní kompenzaci slouží tranzistor  $T_1$ , tranzistor  $T_2$  je zapojen jako dioda a kompenzuje teplotní závislost polovodičového přechodu báze-emitoru tranzistoru  $T_1$ , je proto vhodné použít stejné tranzistory a umístit je mechanicky co nejblíže u sebe, aby byla tepelná vazba co nejtěsnější. Nejlepším řešením je



Obr. 10. Regulator s nastavitelným výstupním napětím a teplotní kompenzací

ovšem použit tranzistory v jednom společném pouzdře. Potenciometrem P je možno výstupní napětí plynně regulovat, použití elektrolytického kondenzátoru C umožňuje pomalý náběh výstupního napětí.

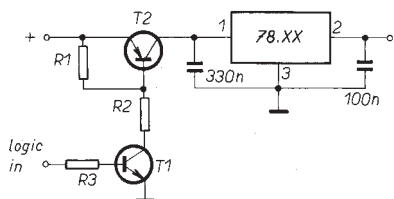


Obr. 11. Zapojení regulátoru ke zmenšení výkonové ztráty integrovaného stabilizátoru srážecím rezistorem R

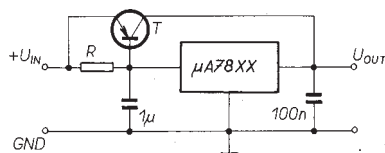
Možnost jednoduše zmenšit výkonové ztráty na monolitickém stabilizátoru pomocí předřadného rezistoru R a výpočet jeho odporu je na obr. 11.

Pokud potřebujeme monolitický stabilizátor při určitém stavu v zařízení dálkově elektronicky odpojit od zdroje, poslouží zapojení na obr. 12. Tranzistor  $T_1$  je ovládán z logického vstupu přes rezistor  $R_3$ . Při log. 1 na tomto vstupu je tranzistor  $T_1$  sepnut, rezistory  $R_1$ ,  $R_2$  prochází jeho kolektorový proud, který vytváří na rezistoru  $R_1$  úbytek napětí, potřebný pro otevření tranzistoru  $T_2$ , který vede a monolitický stabilizátor je tedy připojen. Změnou stavu na logickém vstupu (na log. 0) se tranzistor  $T_1$  uzavře, proud rezistory  $R_1$ ,  $R_2$  přestane protékat a následkem toho se uzavře i tranzistor  $T_2$ , čímž se vstup stabilizátoru odpojí od zdroje. Tento stav trvá až do opětovné změny úrovně na logickém vstupu.

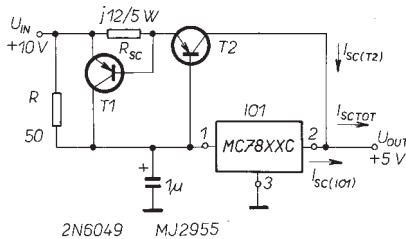
Pokud je potřeba větší výstupní proud, než je daný typ stabilizátoru schopen dodat, můžeme pro proudové „posílení“ monolitického stabilizátoru použít zapojení s přidavným výkonovým tranzistorem



Obr. 12. Regulator s elektronickým vypínáním



Obr. 13. Zapojení pro větší výstupní proudy

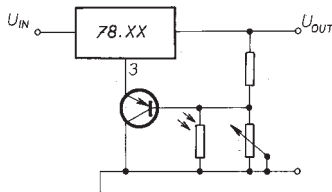


$$R_{SC} = \frac{0,6 \text{ V}}{I_{SC \text{ T2}}}; I_{SC \text{ TOT}} = I_{SC \text{ T2}} + I_{SC \text{ IO1}}$$

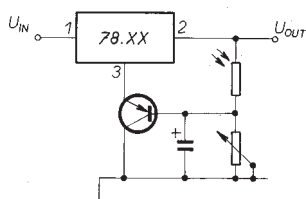
Obr. 14. Zapojení pro větší výstupní proud a s proudovou ochranou (při 7805CT s chladičem součástky pro 5 V/5 A)

podle obr. 13. Přesáhne-li úbytek napětí na rezistoru R, způsobený průchodem proudem stabilizátoru, velikost napětí báze-emitor potřebnou pro otevření výkonového tranzistoru T typu p-n-p, začíná se tento tranzistor otevírat a prochází jím zbývající část proudu do zátěže. Konkrétní řešení takového stabilizátoru pro výstupní proud až 5 A je na obr. 14. Zapojení navíc obsahuje ochranu proti proudovému přetížení výkonového tranzistoru při případném zkratu na výstupu. Přesáhne-li výstupní proud stanovenou mez, vlivem úbytku na snímacím rezistoru  $R_{SC}$  se otevírá tranzistor  $T_1$  a ten zkratuje napětí báze-emitor tranzistoru  $T_2$ , čímž se  $T_2$  dostává do nevodivého stavu a maximální velikost výstupního proudu bude omezena.

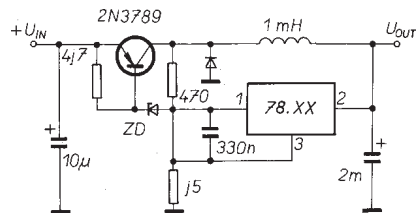
Jednou z méně známých aplikací monolitických stabilizátorů je jejich zapojení jako převodník intenzity světla/napětí. Obr. 15 ukazuje zapojení, ve kterém se výstupní napětí stabilizátoru zmenšuje při zvětšující se intenzitě světla dopadajícího na fotorezistor. V zapojení podle obr. 16 je výsledný efekt opačný, se zvětšující se intenzitou se napětí na výstupu obvodu zvětšuje.



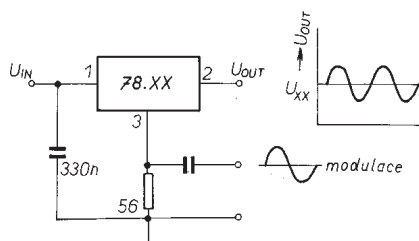
Obr. 15. Zapojení 1 pro převod intenzita světla/napětí



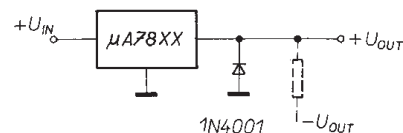
Obr. 16. Zapojení 2 pro převod intenzita světla/napětí



Obr. 17. Zapojení spínaného zdroje s lineárním stabilizátorem (D - 1N5812)



Obr. 18. IO jako výkonový amplitudový modulátor



Obr. 19. Ochrana proti přepólování výstupu stabilizátoru

K dalším ještě méně obvyklým aplikacím patří zapojení monolitických lineárních regulátorů ve spínaných zdrojích pro dosažení větší účinnosti, např. podle obr. 17, nebo zapojení jako jednoduchý výkonový amplitudový modulátor s jednotkovým zesílením a pracovním kmitočtem až 100 kHz na obr. 18.

V řadě případů, ať již přímým připojením nebo vlivem zátěže, může být k výstupu stabilizátoru připojen zdroj opačné polarizace, což má za následek zničení IO. Velice jednoduchou ochranou proti reverznímu napětí na výstupu je připojení antiparalelně polarizované diody podle obr. 19. Při běžném provozu se dioda neuplatní, neboť je závěrně polarizována. Pokud se však z jakéhokoli důvodu na výstupu stabilizátoru objeví napětí záporné polarity větší než 0,6 V, začíná dioda vést a znamená pro toto napětí vlastní zkrat.

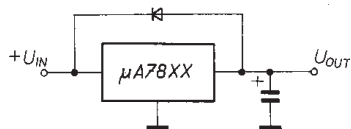
Dalším případem, kdy hrozí zničení stabilizátoru, je výskyt většího napětí na výstupu, než je velikost nestabilizovaného napětí na vstupní svorce stabilizátoru. Při rozdílu těchto napětí větším než přibližně 7 V je přechod báze-emitor vnitřního regulačního tranzistoru opět přepólován. Tento jev se může objevit například i za zcela běžného provozu zdroje při jeho vypínání, je-li na výstupu nebo na desce napájeného obvodu použit kondenzátor s velkou kapacitou a zmenšuje-li se napětí na výstupu stabilizátoru pomaleji než na jeho vstupu. Tento případ nastává též při zkratu v obvodu vstupu stabilizátoru. Velmi jednoduchou a dostatečnou ochranou je opět závěrně polarizovaná dioda, připojená paralelně k vstupní a výstupní svorce monolitického stabilizátoru. Dioda zajistí,



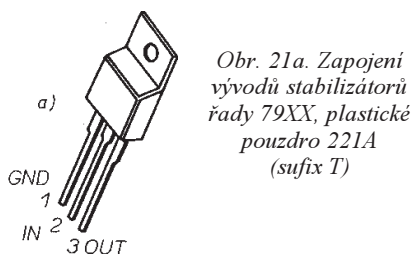
Tab. 2. Standardní stabilizátory s pevným výstupním napětím záporné polarity

Typ	$U_{\text{výst. min.}}$ [V]	$U_{\text{výst. jmen.}}$ [V]	$U_{\text{výst. max.}}$ [V]	$I_{\text{výst. max.}}$ [mA]	$I_q$ typ. [mA]	Dropout typ. [V]	Dropout max. [V]	$U_{\text{vst. max.}}$ [V]	Výrobce
LM345	-5,2	-5	-4,8	3000	1	-	2,8	-20	NSC
LM7905	-4,75	-5	-5,25	1500	1	1,1	-	-25	NSC
LM7912	-11,4	-12	-12,6	1500	1,5	1,1	-	-30	NSC
LM7915	-14,25	-15	-15,75	1500	1,5	1,1	-	-30	NSC
$\mu$ A79M05	-5,25	-5	-4,75	500	1	1,1	2	-25	TI
$\mu$ A79M06	-6,3	-6	-5,7	500	1	1,1	2	-25	TI
$\mu$ A79M08	-8,4	-8	-7,6	500	1	1,1	2,5	-25	TI
$\mu$ A79M09	-	-9	-	500	-	-	-	-	TI
$\mu$ A79M10	-	-10	-	500	-	-	-	-	TI
$\mu$ A79M12	-12,6	-12	-11,4	500	1,5	1,1	2,5	-30	TI
$\mu$ A79M15	-15,75	-15	-14,25	500	1,5	1,1	2,5	-30	TI
$\mu$ A79M20	-21	-20	-19	500	1,5	1,1	3	-35	TI
$\mu$ A79M24	-25,2	-24	-22,8	500	1,5	1,1	3	-38	TI
MC79L05	-5,5	-5	-4,5	100	10	1,7	2	-20	TI
MC79L05A	-5,25	-5	-4,75	100	5	1,7	2	-20	TI
MC79L12	-13,2	-12	-10,8	100	10	1,7	2,5	-27	TI
MC79L12A	-12,6	-12	-11,4	100	5	1,7	2,5	-27	TI
MC79L15	-16,5	-15	-13,5	100	10	1,7	2,5	-30	TI
MC79L15A	-15,75	-15	-14,25	100	5	1,7	2,5	-30	TI

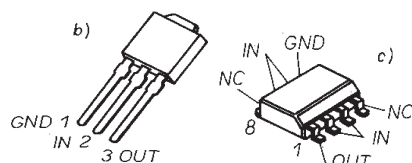
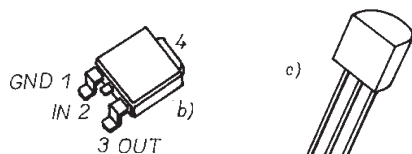
že napětí na výstupu nepřesáhne nikdy velikost vstupního napětí o více než asi 0,6 V (obr. 20).



Obr. 20. Ochrana proti výstupnímu napětí většímu než je napětí vstupní



Obr. 21a. Zapojení vývodů stabilizátorů řady 79XX, plastické pouzdro 221A (sufix T)



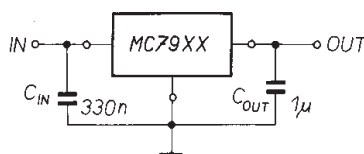
Obr. 21b, c. Stabilizátory 79XX v plastických pouzdech DPAK (pouzdro 369 a 369A, sufix DT a DT1 (b) a v plastických pouzdech TO-92 a SOP-8 (751), sufixy P a D (c)

Oba výše zmíněné typy ochrany je možné - a vhodné - kombinovat.

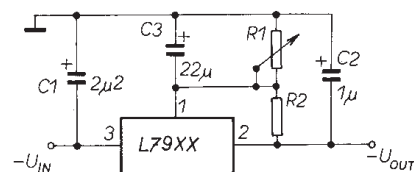
Uvedená zapojení lze v zásadě aplikovat na všechny typy IO v tab. 1.

### Obvody pro záporná výstupní napětí

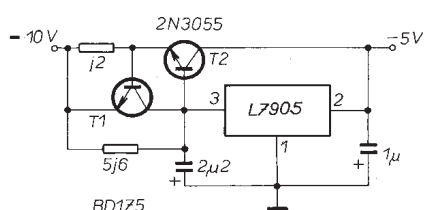
Přehled základních typů stabilizátorů pro pevná záporná výstupní napětí je v tab. 2. Řada 79XX je komplementární k výše uvedené řadě 78XX, pouze sortiment vyráběných typů je poněkud omeze-



Obr. 22. Základní zapojení stabilizátorů řady 79XX



Obr. 23. Zapojení pro zvětšení a plynulou regulaci výstupního napětí



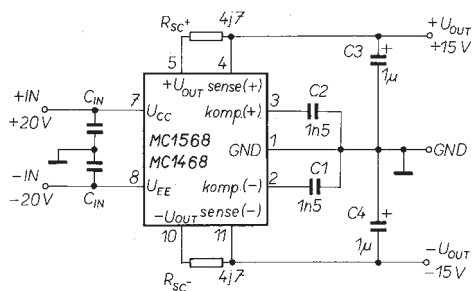
Obr. 24. Zapojení pro větší výstupní proudy

nější. Rovněž, a to je obzvláště důležité, mají rozdílné zapojení vývodů, jak ukazuje obr. 21. Na dalších obrázcích je základní zapojení stabilizátorů řady 79XX (obr. 22), na obr. 23 je zapojení pro zvětšení a plynulou regulaci výstupního napětí a na obr. 24 je „proudově posílený“ regulátor s výstupním napětím -5 V, proudem do zátěže až 4 A a proudovou ochranou výkonového tranzistoru. Činnost tohoto zapojení je v principu stejná jako u zapojení na obr. 14.

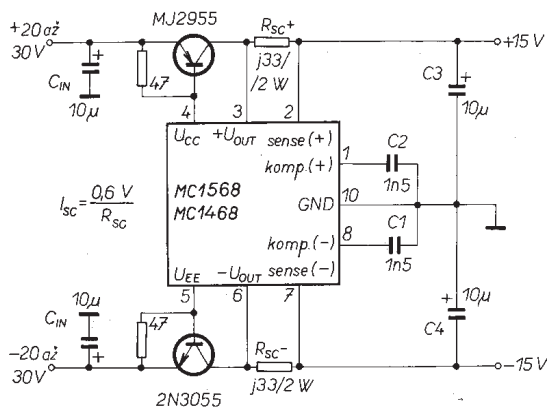
Jinak všechna dříve uvedená zapojení s regulátory řady 78XX je možno po úpravě aplikovat i na řadu 79XX při respektování opačné polaroty stabilizovaného napětí a rozdílného zapojení vývodů monolitických regulátorů.

### Obvody pro symetrická výstupní napětí

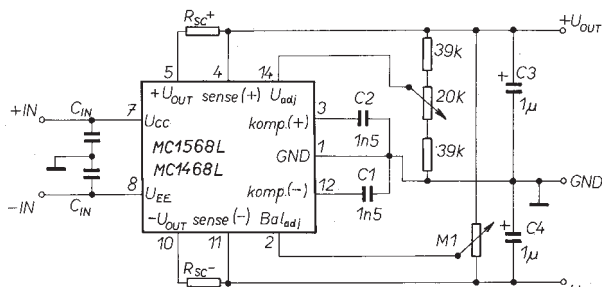
Vhodným typem obvodu ke stabilizaci symetrických napětí je obvod MC1468L od firmy Motorola. Vyrábí se ve čtrnáctivývodovém keramickém pouzdrů DIP pro komerční rozsah pracovních teplot. Je do-



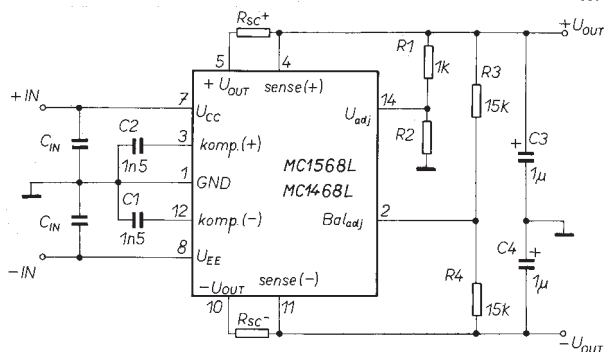
Obr. 25. Základní zapojení stabilizátoru symetrických napětí s MC1468L



Obr. 26. Zapojení pro výstupní proud až 2 A



Obr. 27. Zapojení pro nastavení výstupního napětí v rozmezí 14,5 až 20 V



Obr. 28. Zapojení pro nastavení výstupního napětí v rozmezí 8 až 14,5 V

stupná i verze s rozšířeným teplotním rozsahem s označením MC1568L, která je však z tohoto důvodu dražší.

MC1468L je stabilizátor napětí dvou polarit s vlečnou regulací (tracking regulator), takže na výstupech vždy obdržíme symetrická napětí stejné velikosti. Základní zapojení obvodu je na obr. 25.

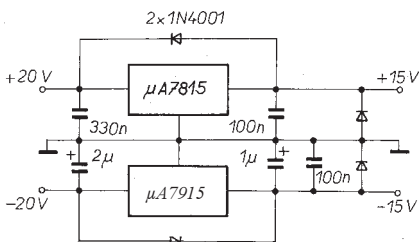
Maximální výstupní proud, který je samotný stabilizátor schopen do zátěže dodat, je 100 mA. Pokud je požadován větší výstupní proud, je nutno výstupy stabilizátoru posílit výkonovými tranzistory v zapojení podle obr. 26, kde je maximální výstupní proud až 2 A. Obvod obsahuje také vnitřní proudovou pojistku, která se aktivuje, pokud proud do zátěže vyvolá na snímacích rezistorech  $R_{sc+}$  a  $R_{sc-}$  úbytek napětí větší než 0,6 V. Omezení výstupního proudu lze tedy v libovolných mezích nastavit vhodnou volbou odporu těchto rezistorů. Odpor rezistorů  $R_{sc+}$  a  $R_{sc-}$  v ohmech dostaneme dělením napětí 0,6 V požadovaným maximálním výstupním proudem v A.

Velikost výstupního napětí je vnitřně nastavena na 15 V, avšak lze ji jednoduše externě nastavit v rozsahu od 8 do 20 V, plynule nebo pevně, tak jak je to znázorněno na obr. 27 a obr. 28. Odpor rezistoru

$R_2$  na obr. 28 je 1,2 k $\Omega$  pro výstupní napětí 14 V, 1,8 k $\Omega$  pro 12 V, 3,5 k $\Omega$  pro 10 V, pro výstupní napětí 8 V zůstává tento rezistor nezapojen. Symetrii výstupních napětí je možno přesně nastavit odporovým děličem nebo potenciometrem, jehož střed je připojen na vývod č. 14 ( $U_{adj}$ ).

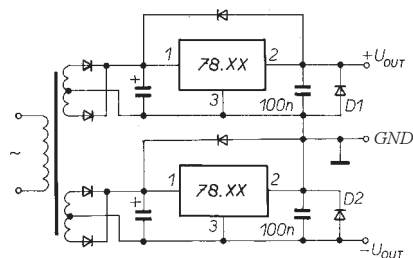
Vstupní napětí stabilizátoru nesmí překročit 30 V. Tento obvod byl navržen zejména pro napájení operačních zesilovačů.

Jinak lze regulátor pro pevná symetrická napětí poměrně snadno a levně získat sestavením ze dvou dříve popsaných stabilizátorů, z řady 78xx pro kladnou větev výstupního napětí a z řady 79xx pro zápornou větev výstupního napětí. Zapojení je velice často užíváno a je na obr. 29.



Obr. 29. Stabilizátor s výstupním napětím 15 V

Méně obvyklým řešením je zapojení na obr. 30, kdy je pro regulaci napětí obou polarit použit stejný typ stabilizátoru. Toto



Obr. 30. Stabilizátor pro pevná symetrická napětí se dvěma obvody 78XX

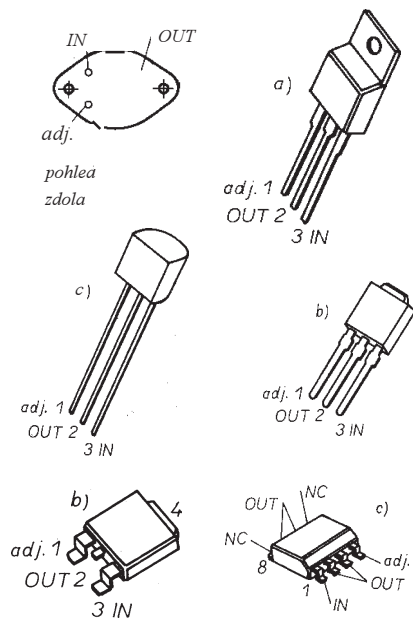
zapojení však vyžaduje použití transformátor se dvěma oddělenými vinutími. Odbočka na vinutích však není nutná při použití usměrňovačů v můstkovém zapojení.

## Stabilizátory s nastavitelným výstupním napětím

### Přehled základních typů stabilizátorů s nastavitelným výstupním napětím

#### Obvody pro kladná výstupní napětí

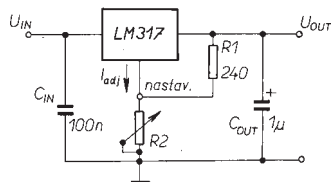
Obvody řady LM317 jsou bezesporu nejčastěji používanými součástkami pro plynulou regulaci napětí kladné polarity. LM317 se vyrábí ve třech modifikacích podle maximálního výstupního proudu: LM317T s výstupním proudem až 1,5 A, LM317M s výstupním proudem až 500 mA a LM317L s výstupním proudem do 100 mA. Zapojení vývodů pouzder, ve kterých jsou tyto obvody dodávány, je na obr. 31a, b, c.



Obr. 31a, b, c. Zapojení vývodů pouzder obvodů LM317;

- a) pouzdro TO-3 a 221A, suffix T,
- b) pouzdra DPAK (369 a 369A, suffix 369 a 369A),
- c) pouzdra TO-92 (suffix Z) a 751 (SOP-8x)

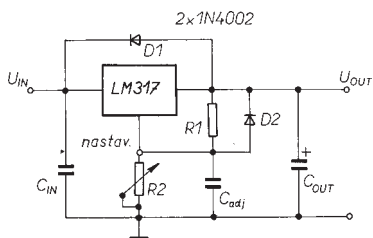
Základní zapojení obvodu je na obr. 32. Na obr. 33 je vylepšené základní zapojení s ochrannými diodami a přidavným filtračním kondenzátorem  $C_{adj}$ . Dioda  $D_1$  zamezuje vybití náboje výstupního filtračního kondenzátoru (při případném zkratu



Obr. 32. Základní zapojení LM317

$$U_{OUT} = 1,25(1 + R_1/R_2) + I_{adj}$$

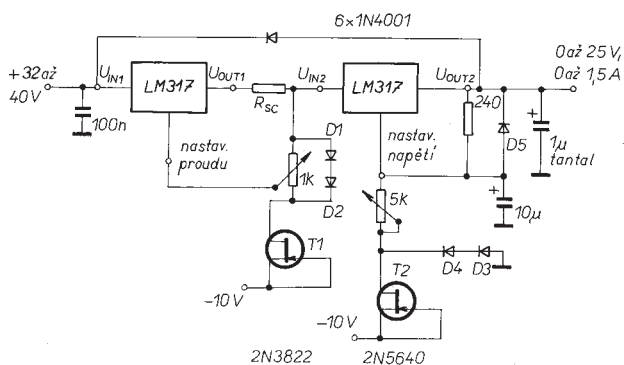
na vstupu) přes integrovaný obvod, který by se tím mohl poškodit. Dioda  $D_2$  zamezuje vybití  $C_{adj}$  přes integrovaný obvod při zkratu na výstupu. Kondenzátor  $C_{adj}$  filtruje napětí na regulačním vstupu a přispívá ke zmenšení zvlnění výstupního napětí. Připojením kondenzátoru s kapacitou



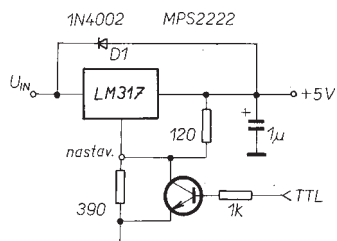
Obr. 33. Vylepšené základní zapojení s ochrannými prvky

10 µF se zmenší zvlnění výstupního napětí o asi 15 dB.

Zapojení zdroje +5 V s elektronickým vypínáním (funkce „Shutdown“) je na obr. 34. Přivedením úrovně log. 1 přes rezistor na bázi tranzistoru se tranzistor otevře a

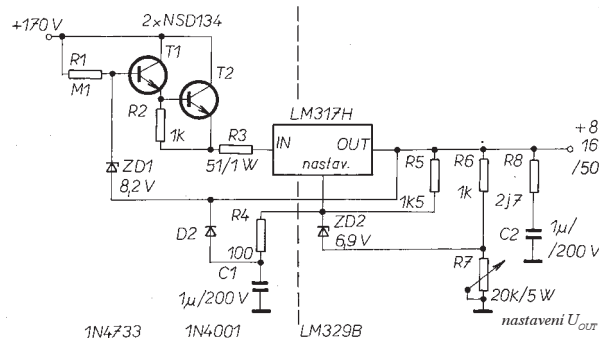


zkratuje dolní část odporového děliče. Tím se napětí na výstupu stabilizátoru zmenší na úroveň max. 1,25 V.



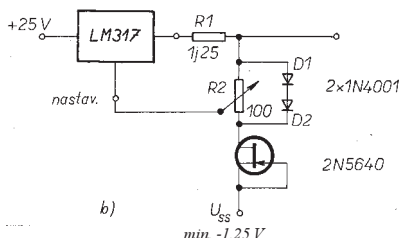
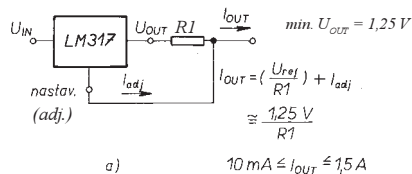
Obr. 34. Zdroj +5 V s elektronickým vypínáním

Zapojení LM317 jako proudového regulátoru - zdroje konstantního proudu - je na obr. 35. Tohoto obvodu je dále vtipně využito v následujícím zapojení na obr. 36. Jedná se o laboratorní zdroj s plynule nastavitelným výstupním napětím a proudovým omezením, to vše od nuly, proto



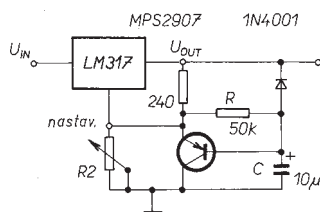
Obr. 38. Stabilizátor kladného napětí +8 až +160 V

jsou tranzistory  $T_1, T_2$  připojeny na pomocné záporné napětí.



Obr. 35a, b. LM317 jako regulátor proudu (min. 0, max. 1 A)

Obr. 36. Laboratorní zdroj s plynule nastavitelným výstupním napětím a proudovým omezením

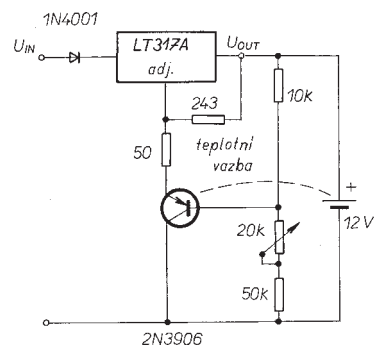


Obr. 37. Zapojení pro pomalý náběh napětí na výstupu stabilizátoru

Zapojení na obr. 37 zajišťuje pomalý náběh napětí na výstupu stabilizátoru po připojení vstupního napětí. Bezprostředně po zapnutí zdroje se přes rezistor R začne nabíjet elektrolytický kondenzátor C. Vlivem nabíjecího proudu kondenzátoru vzniká na rezistoru R úbytek napětí, který otevírá tranzistor, regulační potenciometr  $R_2$  je přemostěn a na výstupu je jen malé napětí, které se postupně zvětšuje úměrně tomu, jak se zmenšuje nabíjecí proud kondenzátoru C a úbytek napětí na rezistoru R. Tranzistor se postupně přivírá, napětí

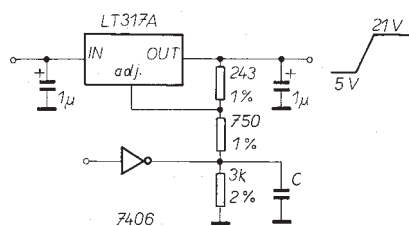
na výstupu se zvětšuje a po úplném nabití kondenzátoru C nemá tranzistor na zapojení žádný vliv, neboť je zcela uzavřen. Volbou kapacity kondenzátoru C a odporu rezistoru R je možno zvolit vhodnou časovou konstantu článku RC pro požadovanou dobu náběhu zdroje. Tímto zapojením je možno odstranit některé rušivé vlivy při zapínání elektronických zařízení.

Další užitečná aplikace obvodu LM317 je na obr. 38. Jedná se o stabilizátor velkého kladného napětí. Plynulá regulace je možná v rozsahu výstupního napětí od +8 V až do +160 V při proudu do zátěže až 50 mA.



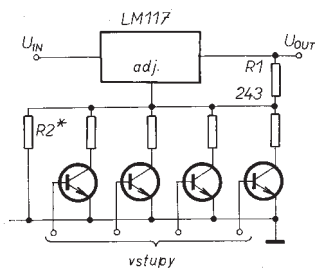
Obr. 39. Teplotně kompenzovaný nabíječ olověných článků

Mezi další zajímavé aplikace patří teplotně kompenzovaný nabíječ olověných baterií, obr. 39, a zdroj s elektronicky přepínatelnou velikostí výstupního napětí pro programování paměti PROM/EPROM, obr. 40. Toto zapojení vychází z možnosti digitálně řídit velikost výstupního napětí tak, jak je to znázorněno na obr. 41. Spínací tranzistory mohou být s výhodou nahrazeny analogovými multiplexery.

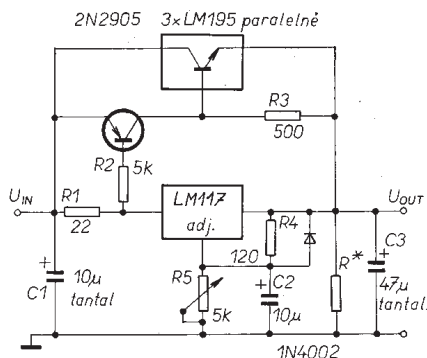


Obr. 40. Zdroj pro programování paměti PROM / EPROM (C podle požadované doby náběhu impulsu)





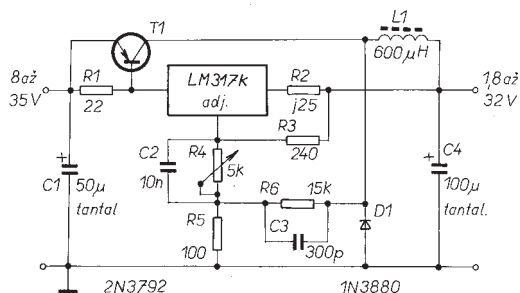
Obr. 41. Digitální řízení velikosti  $U_{OUT}$  ( $R_2$  podle požadovaného max.  $U_{OUT}$ )



Obr. 42. Zapojení pro větší výstupní proud ( $R_x$  volit tak, aby  $I_{OUT}$  byl min. 30 mA)

Pokud potřebujeme na výstupu větší proud než je samotný stabilizátor schopen dodat, použijeme zapojení s paralelně připojeným „posilovacím“ výkonovým tranzistorem na obr. 42.

Obr. 43. Spínaný zdroj 1,8 až 32 V/3 A

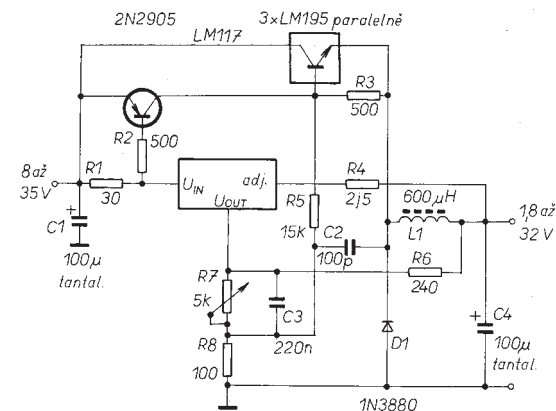


Jako poslední dvě zajímavé aplikace obvodů řady LM317 bych uvedl jejich použití ve spínaných zdrojích. Na obr. 43 je zapojení LM317 v levném, jednoduchém spínaném zdroji s možností regulovat výstupní napětí v rozsahu od 1,8 do 32 V s výstupním proudem až 3 A. Spínaný zdroj na obr. 44 má stejný rozsah regulace výstupního napětí, maximální výstupní proud může však být až 4 A a zdroj má navíc ochranu proti přetížení.

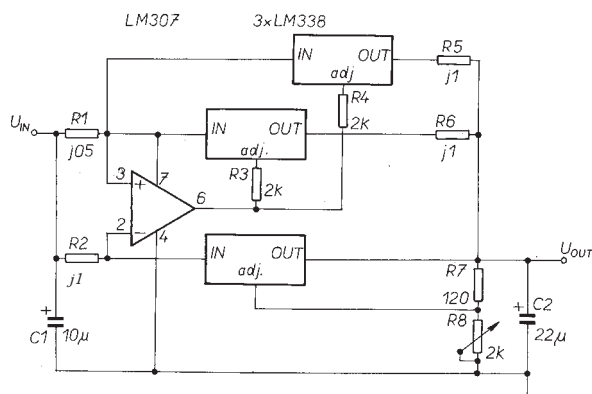
Větší výstupní proud do zátěže můžeme zajistit trojným způsobem. Buď použijeme již dříve uvedená zapojení s posílením výstupu výkonovými tranzistory, nebo použijeme některý typ monolitického stabilizátoru s větším výstupním proudem (tab. 3, str. 174). Tyto stabilizátory je možno navíc pro zvětšení výstupního proudu řadit paralelně.

Zapojení takto koncipovaného regulátoru se třemi paralelně řazenými obvody LM338 je na obr. 45. Výstupní proud tohoto regulovatelného zdroje je až 15 A.

Obr. 44. Spínaný zdroj 1,8 až 32 V/4 A s ochranou proti přetížení



Obr. 45. Regulovatelný zdroj s výstupním proudem až 15 A, minimální zátěž 100 mA



Dalším možným využitím obvodu LM338 je zapojení pro řízení teploty článku na obr. 46. Výstupní napětí regulátoru

napětím 40, popř. 60 V u typů s přidávaným označením „HV“. Není jimi proto možné v základním zapojení regulovat napětí ve větším rozsahu. Toto omezení lze obejít pouze za cenu více či méně složitě úpravy zapojení, viz např. obr. 38.

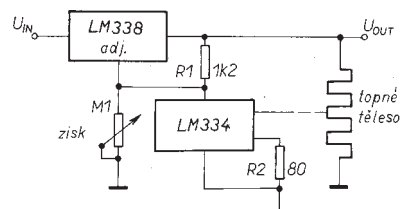
Speciálně pro regulaci větších napětí kladné polarit byl firmou Texas Instruments vyvinut obvod TL783C.

Tento třísvorkový stabilizátor umožňuje regulovat napětí v rozsahu 1,25 až 125 V (125 V je max. velikost rozdílového napětí mezi vstupem a výstupem) při výstupním proudu až 700 mA. Obsahuje ochranné obvody proti zkratu a tepelnému přetížení. Obvod je zhotoven klasickou bipolární technologií kromě výkonového regulačního tranzistoru, který je typu DMOS.

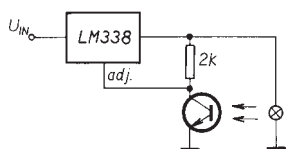
Zapojení vývodů pouzdra TO-220, ve kterém je tento obvod vyráběn, je na obr. 48, funkční blokové zapojení obvodu TL783C na obr. 49 a jeho základní zapojení pro regulaci napětí v rozsahu 1,25 až 115 V je na obr. 50.

(a tím i teplota topného článku) je ovládáno výstupem teplotního senzoru LM334. Teplota článku je udržována konstantní. Na stejném principu pracuje zapojení na obr. 47, v němž je ovládacím prvkem fototranzistor - regulátor udržuje konstantní jas žárovky.

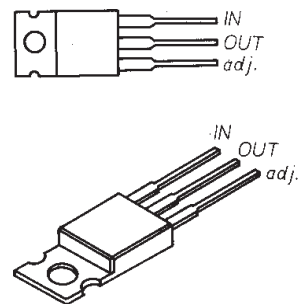
Běžné typy integrovaných monolitických stabilizátorů mají povolený maximální rozdíl mezi vstupním a výstupním



Obr. 46. Řízení teploty topného článku

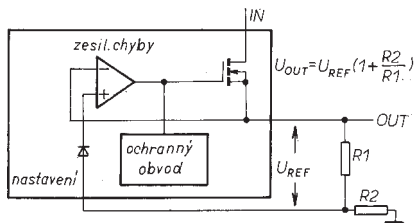


Obr. 47. Regulátor jasu žárovky

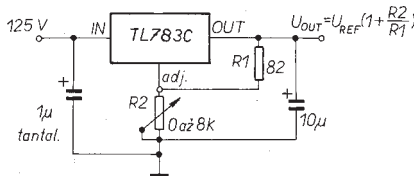


Obr. 48. Zapojení vývodů TL783C

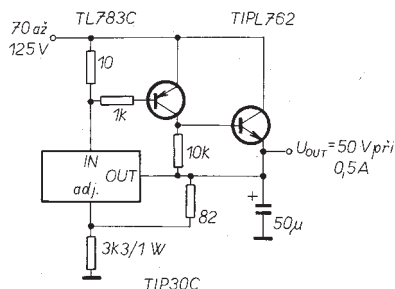
Maximální výkonová ztráta obvodu je bez chlazení max. 2 W, při upevnění na vhodný chladič až 20 W. Pro zvětšení výstupního proudu je možno k obvodu paralelně připojit výkonové tranzistory podle



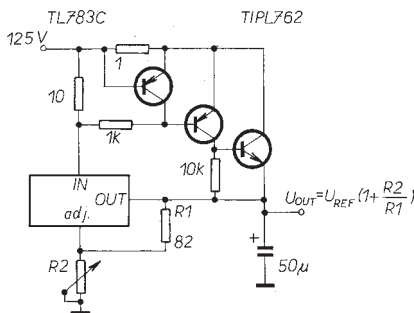
Obr. 49. Funkční blokové zapojení obvodu TL783C



Obr. 50. Regulator s výstupním napětím v rozsahu 1,25 až 115 V



Obr. 51. Zvětšení výstupního proudu TL783C



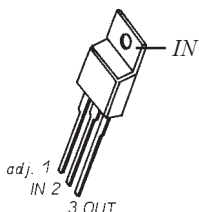
Obr. 52. Zvětšení výstupního proudu TL783C s proudovou ochranou

obr. 51. Na obr. 52 je toto zapojení doplněno o obvod proudového omezení.

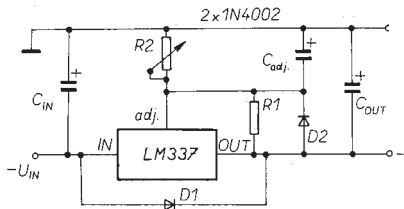
### Obvody pro záporná výstupní napětí

Nejpoužívanějším stabilizátorem pro regulaci napětí záporné polaritě je obvod typu LM337T. Jedná se o variantu v předchozí části popsaného obvodu LM317. Rozdíl je pouze v obrácené polaritě stabilizovaného napětí a v zapojení vývodů, které je na obr. 53. Maximální výstupní proud LM337T je 1,5 A, u verze LM337M je to 500 mA.

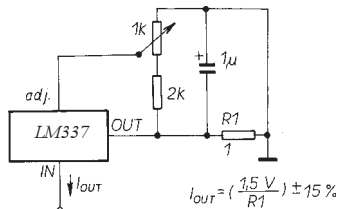
Základní zapojení obvodu včetně připojených ochranných diod je na obr. 54. Zapojení LM337 jako regulovatelný proudový zdroj je na obr. 55.



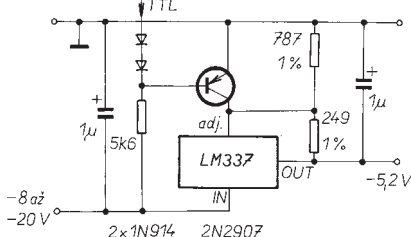
Obr. 53. Zapojení vývodů LM337



Obr. 54. Základní zapojení obvodu LM337



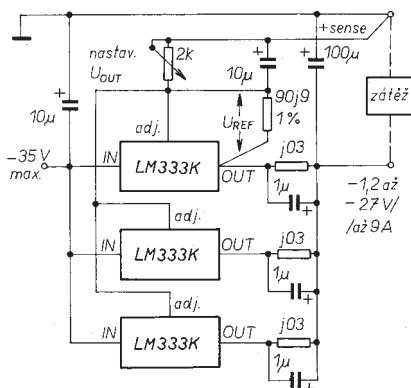
Obr. 55. LM337 jako regulovatelný proudový zdroj



Obr. 56. Regulator záporného napětí s elektronickým vypínáním

dový zdroj je na obr. 55, na obr. 56 je zapojení regulatoru s elektronickým vypínáním, kdy se pro vypnutí logickým signálem napětí na výstupu zmenší pod úroveň -1,3 V. Při respektování opačné polaritě lze na regulator LM337 aplikovat i další zapojení, uvedená v souvislosti s popisem regulatoru kladných napětí LM317.

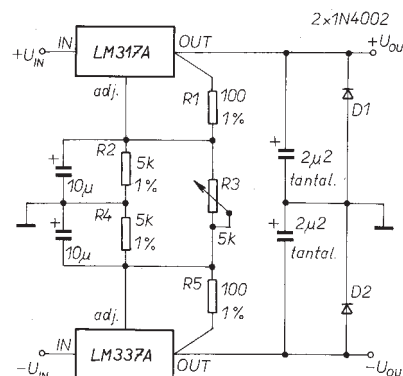
Pro aplikace, u nichž je požadován větší výstupní proud, než jaký je schopen dodat LM337T, je určen obvod s označením LM333. Má stejné zapojení vývodů, základní zapojení i podobné elektrické vlastnosti až na maximální velikost výstupního proudu, která je (pokud rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím nepřesáhne 10 V) až 3 A. Příklad využití tohoto obvodu je na obr. 57. Jedná se o regulator s plynule nastavitelným záporným napětím v rozsahu -1,2 až -27 V s možností proud do zátěže až 9 A.



Obr. 57. Regulator záporného napětí v rozsahu -1,2 až -27 V/9 A

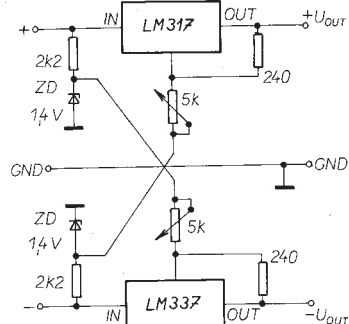
### Obvody pro symetrická výstupní napětí

Stabilizátor s plynule regulovatelným symetrickým napětím je možno sestavit například z výše popisovaných regulatorů řad LM317 a LM337. Lze též použít zapojení na obr. 27 nebo obr. 28 s obvodem MC1468. Na obr. 58 je zapojení regulatoru symetrického napětí s vlečnou regulací - velikost výstupního napětí se mění jednoduchým potenciometrem v obou větších současně, a to v rozmezí od 1,25 do 20 V. Nedostatkem tohoto zapojení je, že výstupní napětí nelze regulovat od nuly.



Obr. 58. Regulator ±1,25 až ±20 V s vlečnou regulací

Tuto nevýhodu odstraňuje zapojení na obr. 59. Spodní konce obou regulačních potenciometrů jsou v tomto zapojení totiž připojeny na zdroj pomocného napětí opačné polaritě, tvořený Zenerovou diodou, napájenou přes rezistor ze vstupu druhého zdroje. Zenerovu diodu s napětím 1,4 V je možno nahradit dvěma až třemi obyčejnými křemíkovými diodami (např. 1N4148), zapojenými v sérii v propustném směru. Potenciometry mohou být použity buď dva jednoduché, pro individuální nastavení výstupního napětí v každé větvi napájecího zdroje, nebo může být použit jeden tandemový potenciometr pro regulaci velikosti výstupního napětí v obou větvích současně.



Obr. 59. Regulator s výstupním napětím obou polarit, nastavitelným od nuly

Zapojení zdroje symetrických napětí na obr. 60 je doplněno dvěma užitečnými funkcemi. První z nich je pomalý náběh výstupního napětí po zapnutí zdroje. To

Tab.3. Přehled základních typů stabilizátorů s nastavitelným výstupním napětím

Typ	$U_{\text{výst.}}$	$I_{\text{výst. max.}}$	$U_{\text{vst.}} - U_{\text{výst. max.}}$	Výrobce
<b>Stabilizátory pro kladná výstupní napětí</b>				
LM338	1,2 V až 32 V	5 A	40 V	NSC
LM350	1,2 V až 32 V	3 A	35 V	NSC
LM317T	1,2 V až 37 V	1,5 A	40 V	NSC
LM317M	1,2 V až 37 V	0,5 A	40 V	NSC
LM317L	1,2 V až 37 V	0,1 A	40 V	NSC
LM317HV	1,2 V až 47 V	podle pouzdra	60 V	NSC
TL783C	1,25 V až 125V	0,7 A	125 V	TI
<b>Stabilizátory pro záporná výstupní napětí</b>				
LM333	-1,2 V až -32 V	3 A	35 V	NSC
LM337T	-1,2 V až -37 V	1,5 A	40 V	NSC
LM337M	-1,2 V až -37 V	0,5 A	40 V	NSC
LM337HV	-1,2 V až -47 V	podle pouzdra	50 V	NSC
<b>Stabilizátory pro symetrická výstupní napětí</b>				
MC1468	$\pm 8$ V až $\pm 20$ V	0,1 A	$\pm 30$ V	MOT

zajišťuje obvod s tranzistorem T1, rezistorem R3 a kondenzátorem C3 v záporné větvi zdroje a s T3, R6 a C4 v kladné větvi zdroje. Bezprostředně po zapnutí zdroje se přes rezistor R začne nabíjet elektrolytický kondenzátor C. Nabíjecím proudem kondenzátor vzniká na rezistoru R úbytek napětí, který otevírá tranzistor, regulační potenciometr P je přemostěn a na výstupu je jen malé napětí, které se postupně zvětšuje úměrně tomu, jak se zmenšuje nabíjecí proud kondenzátoru C a úbytek napětí na rezistoru R. Tranzistor se postupně přivírá, napětí na výstupu se zvětšuje a po úplném nabití kondenzátoru C nemá tranzistor na zapojení žádný vliv, neboť je zcela uzavřen. Volbou kapacity kondenzátoru C a odporu rezistoru R je možno zvolit vhodnou časovou konstantu článku RC pro požadovanou dobu náběhu zdroje. Tímto zapojením je možno odstranit některé rušivé vlivy při zapínání elektronických zařízení.

Druhou funkcí je možnost vnějším napětím z výstupu logiky TTL nebo CMOS uvést zdroj do pohotovostního stavu a to přes vstup označený „standby“. Při log. 0 na tomto vstupu pracuje zdroj normálně, tranzistory T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> nevedou a nemají na zařízení žádný vliv. Úroveň log. 1 se přes R<sub>7</sub>, R<sub>8</sub> uvedou tranzistory T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> do vodivého stavu, čímž se otevřou tranzistory T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> a tím se napětí na výstupech obou zdrojů

zmenší na méně než 1,3 V. Po změně logické úrovně se na výstupech opět objeví napětí nastavené regulačním potenciometrem P. Jako potenciometr je rovněž jako v předchozím případě možno použít buď dva jednoduché potenciometry, pro nastavení výstupního napětí v každé větvi napájecího zdroje individuálně, nebo může být použit jeden tandemový potenciometr pro regulaci velikosti výstupního napětí v obou větvích současně.

## Stabilizátory Low-Dropout (s malým úbytkem napětí)

### Obvody pro kladná výstupní napětí

Stabilizátory s malým úbytkem napětí nalézají uplatnění zejména v bateriově napájených přístrojích a postupně nahrazují standardně užívané typy stabilizátorů řady 78XX. Jejich nasazení i v běžných síťových zdrojích však přináší výhody v potřebě menšího vstupního napětí pro spolehlivou funkci stabilizátoru a nezanedbatelně menších ztrát na regulačním prvku. Tím se zmenšují tepelné ztráty a v důsledku toho se zvětšuje účinnost stabilizovaného zdroje i celková spolehlivost zařízení.

Dále tyto obvody bývají obvykle vybaveny funkcí pro přepnutí do klidového stavu (Shutdown), kdy se podstatně zmenší

spotřeba obvodu, ochranou proti přepólování při chybném vložení napájecích článků do zařízení a ještě dalšími užitečnými funkcemi jako například výstupem pro indikaci malého vstupního napětí (baterie).

Použitím stabilizátorů s malým úbytkem napětí se podstatně prodlužuje doba využití napájecích článků, která je o to delší, o co menší je rozdíl minimálního napětí mezi vstupem a výstupem, potřebný ke spolehlivé funkci regulátoru. Cyklus výměny nebo nutnosti dobít napájecí články se prodlouží, což přispívá ke komfortu obsluhy - tím se zvětšuje i celková užitná hodnota zařízení z nich napájených. Jelikož cena napájecích článků ani elektrické energie ze sítě není zanedbatelná, je provoz zařízení ekonomičtější a ekologičtější.

Vzhledem k uvedeným skutečnostem a výhodám stabilizátorů s malým úbytkem napětí je až s podivem, že je těmto obvodům, jejich popisu a aplikacím u nás věnována jen velmi malá pozornost.

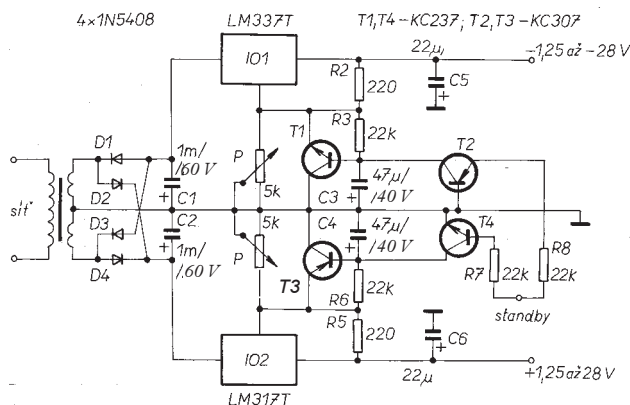
Přehled základních parametrů vybraných typů stabilizátorů s malým úbytkem napětí od některých světových výrobců polovodičových součástek přináší **tab. 4**. Údaje jsou pouze orientační a jsou uvedeny typické údaje. Obvody jsou seřazeny sestupně podle maximální velikosti výstupního proudu do zátěže.

K zajištění malého úbytku napětí mezi vstupem a výstupem obvodu je jako sériový regulační člen obvykle použit tranzistor p-n-p s malým saturačním napětím (u některých novějších typů, např. řady TPS7XXX od firmy Texas Instruments, je to tranzistor typu pMOS).

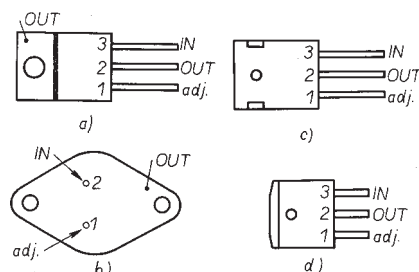
### LT1083 / LT1084 / LT1085

K nejvýkonnějším stabilizátorům s malým úbytkem napětí patří řada LT1083/LT1084/LT1085 od firmy Linear Technology s výstupními proudy 7,5 A, 5 A a 3 A. Úbytek napětí na stabilizátoru je zaručován za všech podmínek menší než 1,5 V při maximálním proudovém zatížení stabilizátoru a je definován jako funkce proudu do zátěže, takže při menších výstupních proudech je i napěťový úbytek pochopitelně menší.

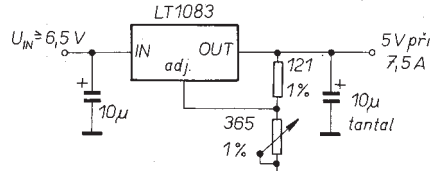
Obvody se vyrábějí ve standardních výkonových pouzdrech TO-3, TO-220,



Obr. 60. Symetrický zdroj s doplňkovými funkcemi



Obr. 61. Zapojení vývodů LT1083 / LT1084 / LT1085



Obr. 62. Základní zapojení LT1083 / LT1084 / LT1085



Tab. 4. Přehled základních typů stabilizátorů s malým úbytkem napětí pro regulaci napětí kladné polarity

V prvním sloupci tabulky je uvedeno základní označení obvodu, následuje přehled vyráběných variant s uvedenou velikostí výstupního napětí pro verze s pevným výstupním napětím, i, pokud se vyrábějí, nastavitelný rozsah výstupních napětí (označeno adj.). Tolerance uvádí možnou maximální odchylku výstupního napětí od jmenovité velikosti. Dále je uveden typický úbytek napětí (Dropout Voltage) na regulačním prvku, obvykle při výstupním proudu, jehož velikost je uvedena v dalším sloupci. Následuje údaj o maximální velikosti vstupního napětí, respektive o maximální velikosti diferenčního napětí mezi vstupem a výstupem. Poté je uvedena typická velikost klidového proudu (při aktivním vstupu Shutdown, pokud je jím obvod vybaven) a údaj o vybavení obvodu vstupem pro funkci elektronického odpojení (Shutdown). V posledním sloupci je výrobce, z jehož katalogových listů bylo při popisu daného obvodu čerpáno, přičemž obvod může vyrábět několik různých firem (výstupní napětí 3V3 = 3,3 V, 3V45 = 3,45 V atd.).

Typ	Výstupní napětí [V]	Tol. [%]	Dropout typ. [V]	Max. výst. proud [A]	U <sub>vst.</sub> max. [V]	Klidový proud [mA]	Funk- ce Shut down	Výst. RE- SET	Vý- rob- ce
LT1083	5 V, 12 V, adj. (1,2-29 V)	±1	1,2	7,5	30	5	-	-	LT
LT1584	3V3, 3V38, 3V45, 3V6, adj.	±2	1,1	7	7	8	-	-	LT
LT1580	2V5, adj.	±1	0,54	7	6	5	-	-	LT
LT1084	3V3, 5 V, 12 V, adj. (1,2-29 V)	±1	1,2	5	30	5	-	-	LT
LT1585	3V3, 3V38, 3V45, 3V6, adj.	±3	1,1	4,6	7	8	-	-	LT
MAX687	3V3	±3	0,8	4	11	0,15	✓	-	MAX
MAX688 / 9	3V3 / 3 V	±3	0,8	4	11	0,15	✓	-	MAX
LT1587	3V3, 3V45, 3V6, adj.	±2	1,1	3	7	8	-	-	LT
LT1528	adj.	±3	0,6	3	15	0,11	✓	-	LT
LT1529	3V3, 5 V, adj. (3,8-14 V)	±3	0,6	3	15	0,015	✓	-	LT
LT1085	3V3, 3V6, 5 V, 12 V, adj.	±1	1,2	3	30	5	-	-	LT
LT1086	2V85, 3V3, 3V6, 5 V, 12 V, adj.	±1	1,2	1,5	30	5	-	-	LT
LM2940	5 V, 8 V, 9 V, 12 V, 15 V	±5	0,5	1	26	10	-	-	NSC
LM2941	adj. (5-20 V)	±3	0,5	1	26	10	✓	-	NSC
LT1118	2V5, 2V85, 5 V	±2	1	0,8	15	0,001	✓	-	LT
MC33269	3V3, 5 V, 12 V, adj.	±1	1,25	0,8	20	5,5	-	-	MOT
REG1117	2V85, 3 V, 3V3, 5 V, adj. (1,3-14 V)	±1	1,1	0,8	15	4	-	-	B-B
LT1117	2V85, 3V3, 5 V, 12 V, adj.	±1	1,1	0,8	10-15	4	-	-	LT
LM2925	5 V	±5	0,82	0,75	26	3	-	✓	NSC
LM2935	2× 5 V	±5	0,82	0,75	26	3	✓	✓	NSC
TL750MXX	5 V, 8 V, 10 V, 12 V	±1	0,5	0,75	26	60	-	-	TI
TL751MXX	5 V, 8 V, 10 V, 12 V	±1	0,5	0,75	26	0,2	✓	-	TI
LT1129	3V3, 5 V, adj.	±2	0,4	0,7	30	0,015	✓	-	LT
LM2926 / 27	5 V	±5	0,35	0,5	26	2	-	✓	NSC
LM2937	5 V, 8 V, 10 V, 12 V, 15 V	±5	0,5	0,5	26	2	-	-	NSC
LM2984	3× 5 V	±5	0,53	0,5	26	14	✓	✓	NSC
MC33267	5 V	±2	0,58	0,5	40	12	-	✓	MOT
TLV2217-33	3V3	±1	0,4	0,5	12	19	✓	-	TI
TPS7101	adj. (1,2-9,75 V)	±3	0,115	0,5	10	0,285	✓	-	TI
TPS7133	3V3	±2	0,235	0,5	10	0,285	✓	-	TI
TPS7148	4V85	±2	0,15	0,5	10	0,285	✓	-	TI
TPS7150	5 V	±2	0,146	0,5	10	0,285	✓	-	TI
MAX603	5 V, adj. (1,3-11 V)	±5	0,32	0,5	11,5	0,015	✓	-	MAX
MAX604	3V3, adj. (1,3-11 V)	±5	0,48	0,4	11,5	0,015	✓	-	MAX
TL75LPXX	4V85, 5 V, 8 V, 10 V, 12 V	±2	0,22	0,3	23	0,1	✓	-	TI
LT1521	3 V, 3V3, 5 V, adj. (3,75-20 V)	±2	0,5	0,3	20	0,012	✓	-	LT
LP2952 / 53	3V3, 5 V, adj. (1,23-29 V)	±0,5	0,47	0,25	30	0,13	✓	✓	NSC
LP2954A	5 V	±1	0,47	0,25	30	0,09	-	-	NSC
LP2956A	(dual) 5 V + adj. (1,23-29 V)	±0,5	0,47	0,25	30	0,17	✓	-	NSC
LP2957A	5 V	±0,5	0,47	0,25	30	0,15	✓	-	NSC
TPS7201	adj. (1,2-9,75 V)	±3	0,2	0,25	10	0,155	✓	-	TI
TPS7233	3V3	±2	0,36	0,25	10	0,155	✓	-	TI
TPS7248	4V85	±2	0,216	0,25	10	0,155	✓	-	TI
TPS7250	5 V	±2	0,19	0,25	10	0,155	✓	-	TI
TPS7301	Adj. (1,2-9,75 V)	±3	0,057	0,25	10	0,34	✓	✓	TI
TPS7333	3V3	±2	0,108	0,25	10	0,34	✓	✓	TI
TPS7348	4V85	±2	0,07	0,25	10	0,34	✓	✓	TI
TPS7350	5 V	±2	0,068	0,25	10	0,34	✓	✓	TI

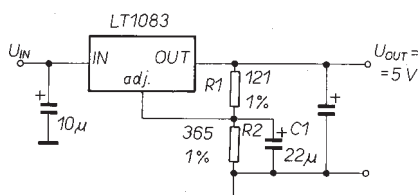
(Tabulka pokračuje na další straně)

Tab. 4. Dokončení z předchozí strany

Typ	Výstupní napětí [V]	Tol. [%]	Dropout typ. [V]	Max. výst. proud [A]	U <sub>vst.</sub> max. [V]	Klidový proud [mA]	Funkce Shut down	Výst. RE- SET	Vý- rob- ce
MAX883	5 V, adj. (1,5-11 V)	±5	0,32	0,25	11,5	0,01	✓	-	MAX
MAX667	5 V, adj. (1,3-15 V)	±4	0,15	0,2	16,5	0,02	✓	-	MAX
MAX882	3V3, adj. (1,5-11 V)	±5	0,32	0,2	11,5	0,01	✓	-	MAX
MAX884	3V3, adj. (1,5-11 V)	±5	0,32	0,2	11,5	0,01	✓	-	MAX
ADP3367	5 V	±5	0,25	0,2	16,5	0,0002	✓	-	AD
ADP667	5 V	±4	0,25	0,2	16,5	0,0002	✓	-	AD
LM2930	5 V, 8 V	±10	0,32	0,15	26	18	-	-	TI
TL750LXX	5 V, 8 V, 10 V, 12 V	±4	0,6	0,15	26	1	-	-	TI
TL751LXX	5 V, 8 V, 10 V, 12 V	±4	0,6	0,15	26	0,5	✓	-	TI
LT1121	3V3, 5 V, adj.	±2	0,4	0,15	30	0,016	✓	-	LT
LT1020	adj. (4-30 V)	±2	0,4	0,125	36	0,04	-	-	LT
LT1120	adj. (4-30 V)	±2	0,4	0,125	36	0,04	✓	-	LT
MC33264	2V8, 3 V, 3V3, 3V8, 4 V, 4V7, 5 V	±2	0,2	0,1	12	0,0003	✓	-	MOT
LM2931	5 V, adj. (3 V-29 V)	±5	0,3	0,1	24	0,4	✓	-	NSC
LP2950	5 V	±2	0,38	0,1	30	0,075	-	-	NSC
LP2951	3 V, 3V3, 5 V, adj. (1,24-29 V)	±2	0,38	0,1	30	0,075	✓	-	NSC
ADM663/6A	3V3, 5 V, adj. (1,3-16 V)	±5	1	0,1	16,5	0,006	✓	-	AD
ADP3301/02	2V7, 3 V, 3V2, 3V3, 5 V	±0,5	0,1	0,1	22	0,001	✓	-	AD
LP2980	5 V	±1	0,12	0,05	16	0,001	✓	-	NSC
LM2936	5 V	±3	0,4	0,05	40	0,009	-	-	NSC
MAX663	5 V, adj. (1,3-15 V)	±5	0,9	0,04	16,5	0,006	✓	-	MAX
MAX666	5 V, adj. (1,3-15 V)	±5	0,9	0,04	16,5	0,006	✓	-	MAX
ICL7663A	adj. (1,3-15 V)	±2	0,9	0,04	16	0,0035	✓	-	MAX
LT1123	5 V, adj.	±2	- DRIVER -	30	0,7	-	-	-	LT

TO-3P a v pouzdru DD-Pak, určeném pro montáž technikou SMT. Zapojení vývodů pouzder je na obr. 61, základní zapojení LT1083, LT1084 a LT1085 je na obr. 62. Zapojení je prakticky stejné jako u již dříve popsaných stabilizátorů řady 78XX, obvody jsou i vývodově kompatibilní a lze je použít i při modernizaci starších konstrukcí.

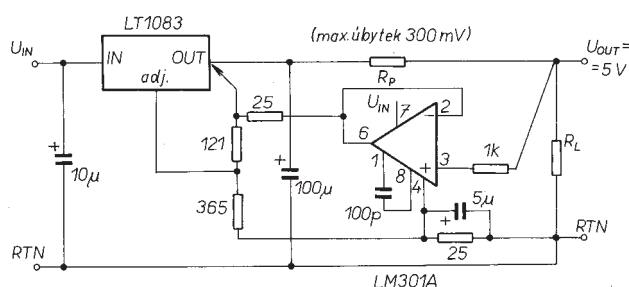
Zvlnění výstupního napětí lze potlačit připojením filtračního kondenzátoru k vývodu pro nastavení (adj.) podle obr. 63. Jako blokovací kondenzátory je doporučeno použít tantalové typy. Pokud na výstu-



Obr. 63. Zapojení pro potlačení zvlnění výstupního napětí

pu použijeme obyčejný hliníkový elektrolytický kondenzátor, je nutno zvětšit jeho kapacitu na 50 µF v zapojení na obr. 62 a na 150 µF v zapojení na obr. 63.

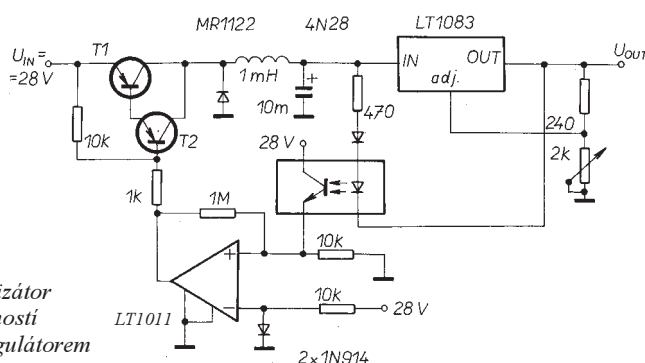
Při velkých proudech a při připojení zátěže delšími vodiči (z konstrukčních důvodů) vzniká na nich vlivem stejnosměrného odporu přívodů a procházejícího proudu napěťový úbytek, jehož velikost se navíc mění s velikostí proudu do zátěže. Tak vzniká chyba, degradující jinak vý-

Obr. 64. Dálkové snímání napětí na zátěži ( $R_p$  - odpor přívodních vodičů)

borné stabilizační vlastnosti obvodu. K odstranění tohoto problému slouží zapojení na obr. 64, kde je velikost napětí přímo na zátěži snímána operačním zesilovačem a úbytek napětí na přívodu až do velikosti 300 mV je korigován.

Další velice zajímavé zapojení je na obr. 65. Jedná se o stabilizátor s velkou účinností, které je dosaženo jednak použitím lineárního stabilizátoru s malým vlastním napěťovým úbytkem a jednak použitím spínaného předregulátoru. Rozdílem mezi vstupním napětím stabilizátoru a na-

staveným výstupním napětím je prostřednictvím proudu, tekoucího snímací LED v optočlánku, řízen napěťový komparátor LT1011, který řídí spínací obvod s tranzistory  $T_1$ ,  $T_2$ . Tak je na vstupu IN stabilizátoru LT1083 udržováno vstupní napětí jen takové velikosti, která je nutná pro bezchybnou činnost stabilizátoru a nevzniká tak zbytečná výkonová ztráta na regulačním prvku. Velikost tohoto napětí se mění v závislosti na nastavení výstupního napětí regulátoru, avšak rozdíl napětí mezi vstupní svorkou IN a výstupní svorkou OUT



Obr. 65. Stabilizátor s velkou účinností a spínaným předregulátorem

zůstává v celém rozsahu regulace stejný. V tomto zapojení je využito výhodných vlastností kombinace spínaného předregulátoru s lineárním stabilizátorem.

#### LT1584 / LT1585 / LT1587

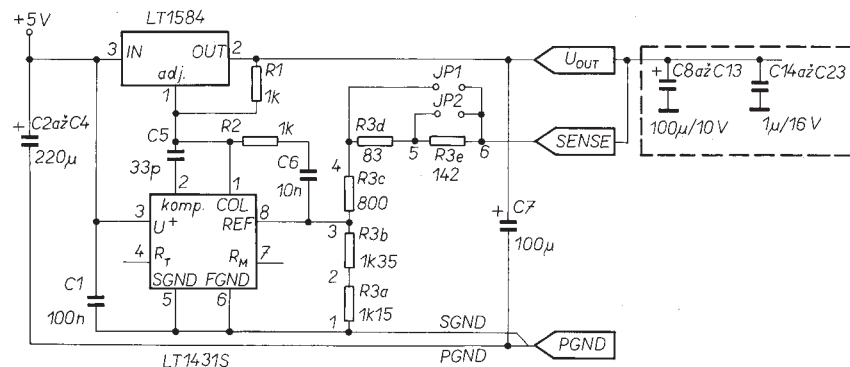
Další řada výkonových stabilizátorů firmy Linear Technology s malým napětovým úbytkem, LT1584/LT1585/LT1587 s maximálním výstupním proudem 7 A, 4,6 A a 3 A, byla vyvinuta zejména pro napájecí zdroje k napájení desek s procesory Pentium a Power PC. Lze je však použít pro napájení logických obvodů s malým napájecím napětím (LV, LVC, ALVC, LVT) obecně a vyrábějí se i ve verzi s libovolně nastavitelnou velikostí výstupního napětí. Mají stejné základní zapojení i shodné zapojení vývodů s již popisovanou řadou stabilizátorů LT108X, dodávají se však pouze v pouzdrech TO-220 a DD-Pak. Mají též menší úbytek napětí (Dropout Voltage) a lepší stabilizační vlastnosti. Rychlá odezva na změnu zátěže je velice důležitým činitelem, protože u dnešní generace mikroprocesorů se změni proudový odběr téměř od nuly až do několika ampér během desítek nanosekund. Pokud je stabilizátor schopen rychle zareagovat, ušetříme navíc za drahé elektrolytické kondenzátory na výstupu, které jinak svým nábojem pokrývají náhle zvětšený odběr zařízení.

Zapojení obvodu LT1584 ve zdroji pro procesory Intel Pentium 90 a 100 MHz je na obr. 66. Zdroj je schopen dodat proud až 7 A. Pro výstupní napětí 3,3 V je instalována propojka JP1, pro Pentium 90 MHz je instalována propojka JP2 a pro Pentium 100 MHz jsou všechny propojky rozpojeny.

Obvod LT1431 ve zpětnovazební řídicí smyčce snímá velikost napájecího napětí na desce procesoru a zajišťuje kompenzaci úbytku napětí na přírodních vodičích. Přínosem tohoto obvodového zapojení je rovněž to, že referenční obvod LT1431 není oproti LT1584 vystaven značným teplotním změnám, což minimalizuje teplotní drift referenčního napětí a tím i napětí výstupního.

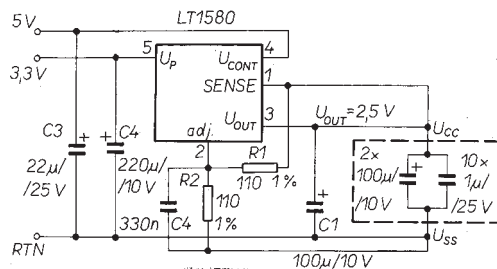
#### LT1580

Obvod LT1580 je zdokonalenou verzí předchozích obvodů. Jeho úbytek napětí při proudu 7 A je pouze 540 mV. Vyrábí se jen s pevným výstupním napětím 2,5 V v pěťvývodovém pouzdru TO-220 a s nastavitelným výstupním napětím v sedmivývodovém pouzdru TO-220. Základní



Obr. 66. Zdroj pro procesory Intel Pentium 90 MHz a 100 MHz

Obr. 68. Regulator 2,5 V/6 A

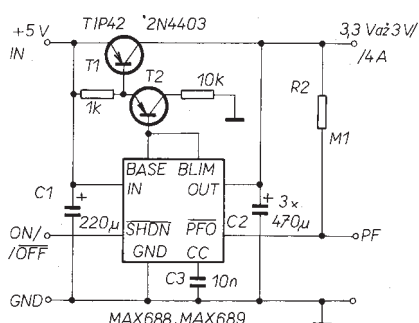




vytvořením krátkého impulsu při připojení vstupního napájecího napětí. Člen RC není vhodný tehdy, má-li vstupní napětí pomalý náběh. Časová konstanta článku RC musí být zvolena tak, aby impuls na vstupu ON setrval ve stavu H do doby, než napětí na výstupu bude minimálně 3,13 V.

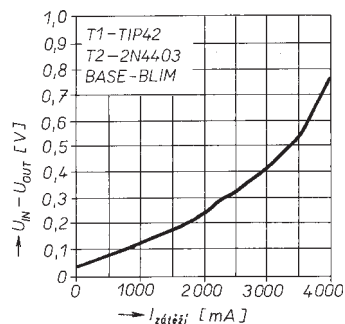
Obvody MAX688 s výstupním napětím 3,3 V a obvody MAX689 s výstupním napětím 3 V zajišťují stejnou výstrahu na vývodu PFO při zmenšení výstupního napětí, nicméně se však samy nevypnou, pokud tento stav nadále trvá. Namísto toho mají vstup shutdown, SHDN, kterým je možno řídit odpojení přivedením externího ovládacího signálu. Vstup SHDN je aktivní při úrovni L.

Všechny verze obvodu dodávají do báze externího tranzistoru proud minimálně 10 mA. Podle předpokládaného odběru napájeného zařízení je nutno vybrat vhodný typ. Doporučeny jsou typy TIP42, 2N4403, 2N2907 od firmy Motorola a typy ZTX749 a FZT749 (SMD) od firmy Zetex.



Obr. 72. Zdroj 3,3 V/3 V s výstupním proudem 4 A

Na obr. 72 je zapojení zdroje s výstupním proudem až 4 A. Pro zajištění potřebné velikosti výstupního proudu a malého úbytku napětí jsou použity dva tranzistory



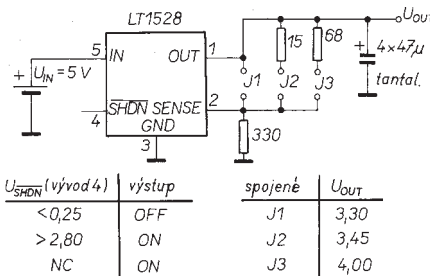
Obr. 73. Závislost velikosti napěťového úbytku na proudu do zátěže

v pseudo-Darlingtonově zapojení. Na obr. 73 je graf, znázorňující závislost velikosti napěťového úbytku na proudu do zátěže.

#### LT1528 a LT1529

Obvody LT1528 a LT1529 jsou určeny pro výstupní proudy do 3 A a dodávají se v pěťvývodových pouzdrech TO-220 a DD-Pak. Stejně jako dříve popsany obvod LT1580 mají vstup SENSE, který slouží

ke snímání velikosti stabilizovaného napětí přímo na desce napájeného zařízení a umožňuje též pomocí jednoduchého odporového děliče nastavit proměnné výstupní napětí. Oproti dřívějším typům od firmy Linear Technology jsou tyto obvody navíc vybaveny vstupem SHDN, shutdown, pro funkci odpojení a uvedení do klidového stavu. V tomto režimu mají tyto „mikropříkonové“ obvody odběr typický 110  $\mu$ A (LT1528), popř. neuvěřitelných 15  $\mu$ A pro LT1529. Obvody mají ochranu proti připojení menšího vstupního napětí než je napětí výstupní bez nebezpečí reverzace proudu a ochranu proti přepólování, takže nejsou třeba externí ochranné diody. Uvedené vlastnosti spolu s úbytkem napětí pouhých 0,6 V při výstupním prou-

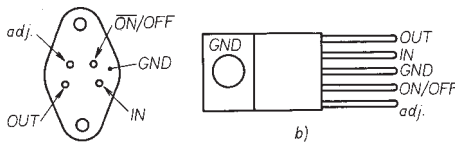


Obr. 74. Napájecí zdroj pro mikroprocesory s LT1528

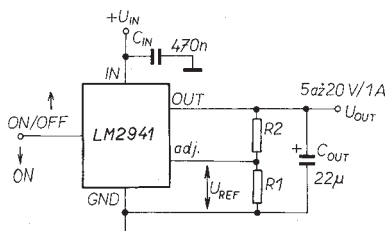
du 3 A předurčují tyto obvody pro práci zejména v bateriově napájených přenosných přístrojích. Na obr. 74 je zapojení napájecího zdroje pro mikroprocesory s obvodem LT1528.

#### LM2940 / LM2941

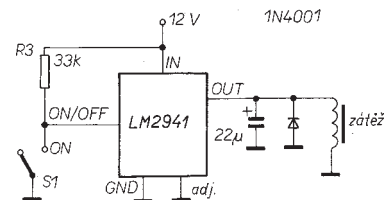
Obvody LM2940 firmy National Semiconductor jsou zapojeny jako klasické třísvorkové stabilizátory s pevným výstupním napětím, zatímco obvod LM2941 nabízí regulovatelné výstupní napětí v rozmezí 5 až 20 V a je vybaven vstupem pro elektronické odpojení obvodu (ON/OFF) kompatibilním s logikou TTL i CMOS. Typický úbytek napětí je 0,5 V při proudu do zátěže 1 A. Obvod obsahuje ochranu proti zkratu na výstupu, tepelnému přetížení, přepólování a proti napěťovým špičkám na vstupu, kdy se obvod automaticky odpojí a chrání tak sebe i napájené zařízení před poškozením. Zapojení vývodů LM2941 je na obr. 75, aplikace LM2941 jako regulátor s výstupním napětím v roz-



Obr. 75. Zapojení vývodů LM2941



Obr. 76. Regulátor s LM2941 s výstupním napětím v rozmezí 5 až 20 V

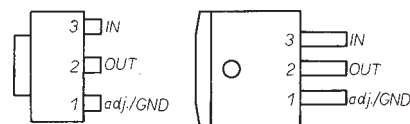


Obr. 77. Elektronicky ovládaný výkonový spínač 1 A

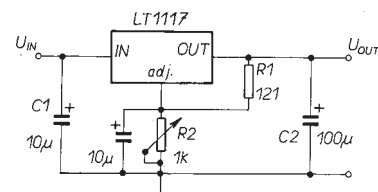
mezi 5 až 20 V je na obr. 76 a na obr. 77 je LM2941 ve funkci elektronicky ovládaného výkonového spínače s proudem do zátěže až 1 A.

#### REG1117 a LT1117

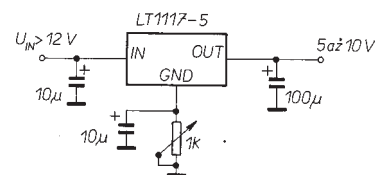
Obvody REG1117 firmy Burr-Brown a LT1117 firmy Linear Technology se vyrábějí pouze v pouzdrech SOT-223 a DD-Pak pro montáž SMT. Zapojení vývodů je na obr. 78. Jedná se o moderní třísvorkové stabilizátory s výstupním proudem až 800 mA. Základní zapojení regulovatelné verze je na obr. 79, zapojení pro regulaci výstupního napětí u obvodu s pevným výstupním napětím je na obr. 80. Na obr. 81



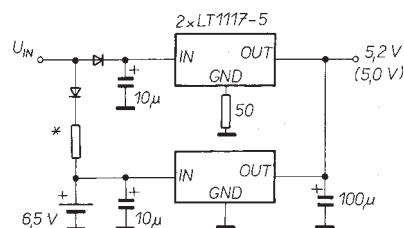
Obr. 78. Zapojení vývodů REG1117, LT1117



Obr. 79. Základní zapojení regulovatelného stabilizátoru



Obr. 80. Zapojení pro nastavení výstupního napětí u pevného stabilizátoru

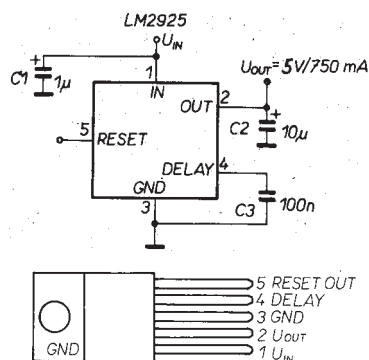


Obr. 81. Stabilizovaný zdroj s bateriovým zálohováním (rezistor s hvězdičkou se vybírá podle nabíjecího proudu baterie)

je zapojení stabilizovaného zdroje s bateriovým zálohováním, jehož výstupní napětí je 5,2 V za běžného provozu a 5 V při napájení ze zálohovací baterie.

## LM2925

Obvod LM2925 na svém čipu obsahuje kromě regulátoru s malým napěťovým úbytkem také obvod pro funkci RESET s nastavitelným zpožděním (Delayed Reset). Dobu zpoždění je možno externě nastavit volbou kapacity vnějšího kondenzátoru, připojeného na vývod 4 IO. Funkci RESET aktivují všechny typy poruch, které mohou způsobit, že se výstupní stabilizované napětí dostane mimo povolený

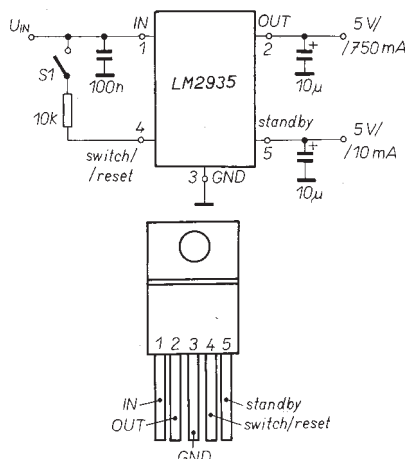


Obr. 82. Aplikační zapojení obvodu LM2925 a zapojení vývodů

rozsah: velké zmenšení vstupního napětí, tepelné přetížení, zkrat na výstupu, napěťové špičky na vstupu. Jelikož je obvod navržen pro práci v bateriově napájených zařízeních, je opatřen ochranou proti přepólování a vstupním krátkodobým napěťovým špičkám až do velikosti 60 V. Aplikační zapojení obvodu LM2925 včetně zapojení vývodů je na obr. 82.

## LM2935

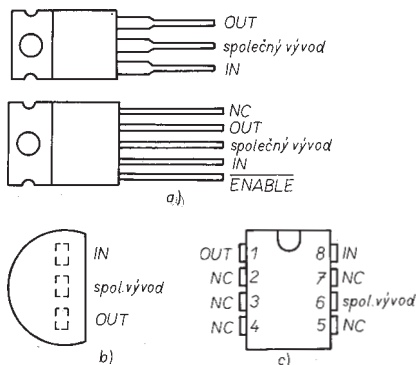
Na obr. 83 je základní zapojení obvodu LM2935. Tento obvod má dva výstupy 5 V. Hlavní výstup je schopen dodat do



Obr. 83. Aplikační zapojení obvodu LM2935 a zapojení vývodů IO

zátěže proud až 750 mA. Druhý dodává proud 10 mA a pracuje i tehdy, je-li obvod v klidovém stavu. Tento výstup se uplatní v zařízeních, v nichž je nutno v klidovém stavu napájet paměti. Dále je obvod vybaven vstupem pro vypnutí hlavního výstupu. Tento vstup je současně výstupem signálu RESET. Obvod rovněž obsahuje všechny typy ochrany, uvedené v popisu předchozího typu LM2925.

Obr. 84 Vnitřní funkční zapojení řady TL751



Obr. 85a, b, c. Zapojení vývodů TL750L/TL751L/TL750M/TL751M

## TL750M/TL751M a TL750L/TL751L

Obvody firmy Texas Instruments řady TL750M/TL751M s výstupním proudem 750 mA a řady TL750L/TL751L s výstupním proudem do 150 mA jsou regulátory pro kladná napětí, speciálně navrženy pro systémy s bateriovým napájením. Tyto obvody obsahují všechny potřebné ochrany jak proti přepětí a proudovému přetížení, tak i proti přepólování. Série TL751 se od série TL750 liší tím, že má implementován navíc obvod a vstup ENABLE - viz vnitřní funkční zapojení řady TL751 na obr. 84. Tento vstup umožňuje konstruktérům čistě elektronicky ovládat zapnutí a vypnutí zařízení, příp. zařízení v nouzi odpojit. Při přivedení úrovně H na vstup ENABLE přejde výstup do stavu s velkou impedancí. Při tomto stavu se rovněž podstatně zmenší klidový proud integrovaného obvodu.

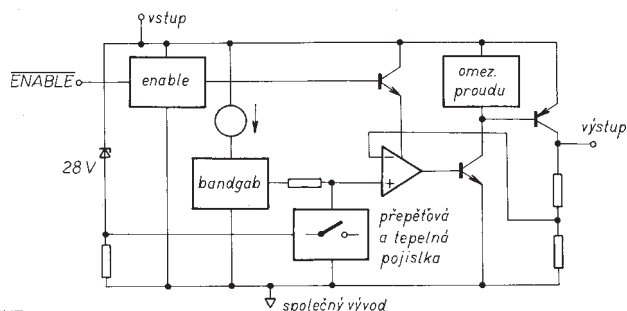
## LM2926 / LM2927

Obvody LM2926/LM2927 firmy National Semiconductor jsou regulátory s malým úbytkem napětí, typicky 350 mV při výstupním proudu do zátěže 500 mA. Jako



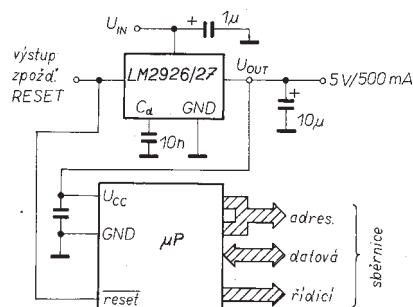
Obr. 86. Zapojení vývodů LM2927

Obr. 87. Časové průběhy napětí při různých chybových stavech;  
A - vstupní napětí L a H,  
B - přechodový jev 80 V na zátěži,  
C - zmenšení a ztráta vstupního napětí,  
 $t_d$  - doby zpoždění

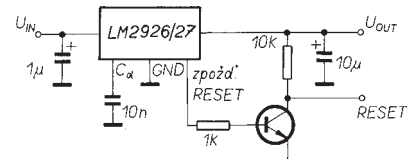


obvod LM2925 jsou vybaveny výstupem se zpožděným signálem RESET (Delayed Reset). Mají i stejné základní zapojení jako LM2925 (obr. 82), obvod LM2927 se však liší jiným zapojením vývodů - obr. 86 a je „pinově“ kompatibilní s obvody L4947 a TLE4260. Hlášení RESET je aktivováno při teplotním přetížení, přepětí, zkratu na výstupu, po připojení napájecího napětí a má logickou úroveň L. Poté, co je chybový stav odstraněn, výstup RESET zůstává na této úrovni ještě po dobu zpoždění, nastavenou vhodnou volbou kapacity zpožďovacího kondenzátoru ( $C_d$ ), doporučená kapacita je 10 nF.

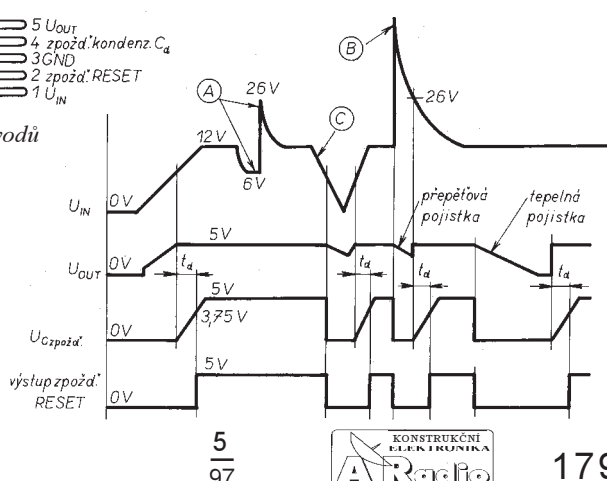
Časové průběhy vstupního a výstupního napětí, napětí na zpožďovacím kondenzátoru a na výstupu RESET při různých chybových stavech jsou na obr. 87. V obvodu RESET je zavedena hystereze, čímž jsou vyloučeny oscilace obvodu. Rovněž

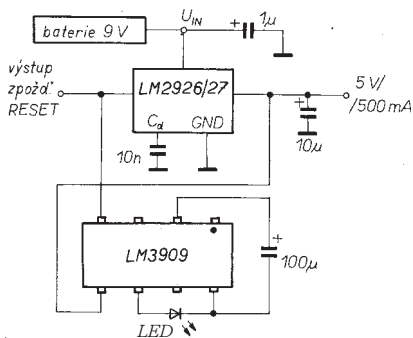


Obr. 88. Propojení LM2926, 27 s mikroprocesorem



Obr. 89. Vytvoření signálu RESET s aktivní úrovní H



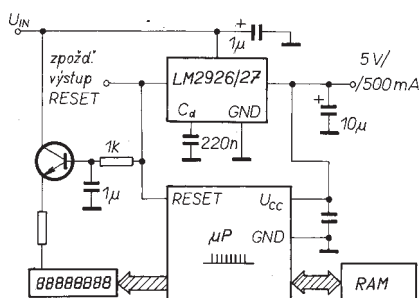


Obr. 90. Obvod indikující blikáním LED malé napětí napájecího článku

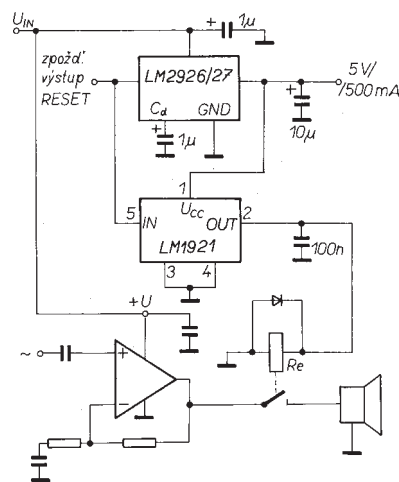
je zde obvod, vybíjející zpožďovací kondenzátor, aby byla zaručena plná délka impulsu RESET i při velmi krátké aktivaci. Samozřejmě jsou ochranné obvody jako u předchozích typů.

Všeobecné zapojení obvodu s mikroprocesorem je na obr. 88. Na obr. 89 je upravený obvod s pomocným tranzistorem n-p-n, který zde slouží jako napěťový invertor k získání signálu RESET s aktivní úrovní H.

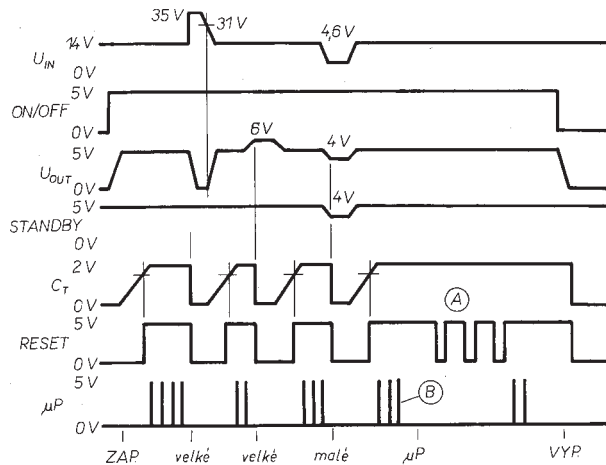
Dalším zapojením je doplnění obvodů LM2926, 27 o obvod indikující blikáním nevyhovující malé napětí napájecího článku (funkce „Low Battery“) na obr. 90. Integrovaný obvod LM3909 je monolitický oscilátor/budič LED, který ke své funkci potřebuje pouze napájení a jeden kondenzátor. V tomto zapojení je jeho činnost spouštěna signálem na výstupu RESET obvodu LM2926, 27. Rychlost blikání in-



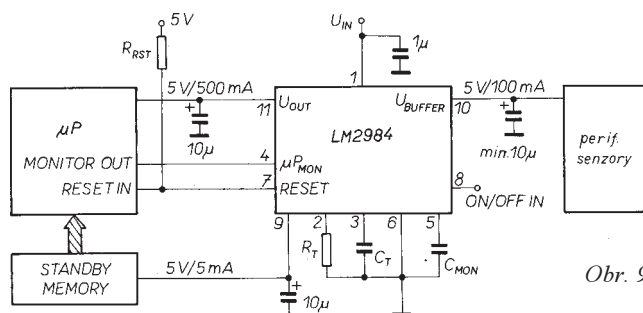
Obr. 91. Zamezení zobrazování náhodného údaje při zapnutí nebo vypnutí



Obr. 92. Využití signálu RESET k funkci „odpojení zátěže“



Obr. 94. Časové průběhy LM2984; A - recurring reset, B - computer malfunction



Obr. 95. Základní zapojení LM2984

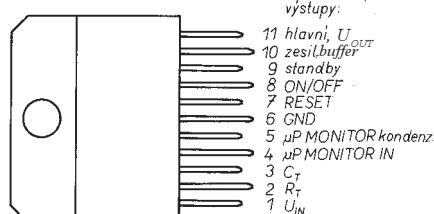
dikační LED lze ovlivnit změnou kapacity elektrolytického kondenzátoru 100 μF.

Na obr. 91 je zapojení s využitím signálu na výstupu RESET k blokování napájení displeje. Je tak zajištěno, že při zapínání a vypínání zařízení nebude na displeji zobrazován náhodný údaj.

Posledním zapojením je na obr. 92 obvod, využívající změny stavu úrovně na výstupu RESET k odpojení zátěže od napájeného zařízení. V tomto konkrétním případě se jedná o odpojení reproduktoru od výkonového zesilovače. Po zapnutí zesilovače je reproduktor k výstupu zpožděně připojen a při zmenšení napájecího napětí při vypnutí je okamžitě odpojen. Jsou tak eliminovány rušivé rázy vznikající v neustáleném stavu při zapnutí/vypnutí. Obvod LM1921 spinající cívkou relé je High-Side Driver s výstupním proudem až 1 A. Lze jej však bez obtíží nahradit tranzistorem n-p-n, připojit emitor na zem, bázi přes rezistor k výstupu RESET a kolektorem spinat cívkou relé (druhým vývodem), připojenou ke kladnému pólu napájecího napětí.

#### LM2984

Obvod LM2984 nabízí na třech nezávislých výstupech tři výstupní napětí 5 V, jimiž je možno napájet zvlášť mikroprocesor a logiku, zvlášť periferní obvody a zvlášť zálohovací paměť v klasickém mik-



Obr. 93. Zapojení vývodů LM2984

roprocesorovém systému. Jednotlivé výstupy 5 V jsou schopny dodat proudy 500, 100 a 5 mA, přičemž napětí na hlavním výstupu je monitorováno. Při připojení napájecího napětí, vypnutí, zkratu, tepelném přetížení nebo výstupním napětí mimo požadovaný rozsah je aktivován zpožděný signál RESET, u něhož je délka trvání zpoždění nastavitelná a je dána vzorcem  $T_{\text{delay}} = 1,2 R_T C_T$ .

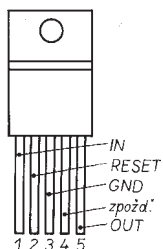
RESET může být aktivován též z mikroprocesoru na vstup  $\mu P_{\text{MON}}$  obvodu LM2984. Jsou sledovány kladné impulsy během normálního provozu - mikroprocesorový watchdog („hlídací pes“). Oba monitorovací systémy jsou vnitřně propojeny a při jakékoli chybě způsobí změnu úrovně na výstupu RESET na log. 0. Výstup je s tranzistorem n-p-n s otevřeným kolektorem. Vstupem ON/OFF je možno ovládat zapnutí a odpojení napěťových výstupů, kromě výstupu pro napájení zálohovací paměti (Standby Output). Není-li vstup ON/OFF používán, je doporučeno jej připojit ke vstupnímu napětí přes rezistor s odporem 10 kΩ.

Zapojení vývodů obvodu LM2984 je na obr. 93, časové průběhy při různých pracovních stavech jsou na obr. 94. Základní zapojení IO v obvodu s mikroprocesorem je na obr. 95. Obvody zajišťující pomocné funkce, umístěné spolu se třemi stabilizátory v jednom pouzdře integrovaného obvodu LM2984, nabízejí velkou úsporu místa na desce s plošnými spoji, jednodušší návrh a následně i úsporu finanční.

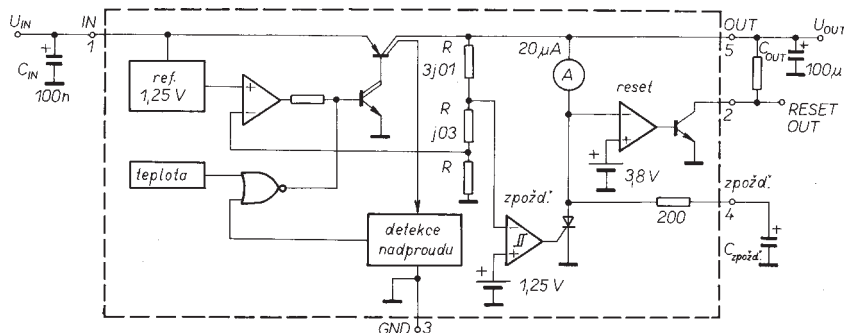
#### MC33267

Obvod firmy Motorola MC33267 je stabilizátor kladného napětí 5 V, navržený pro regulaci v obvodech s extrémně malým rozdílem mezi vstupním a výstupním



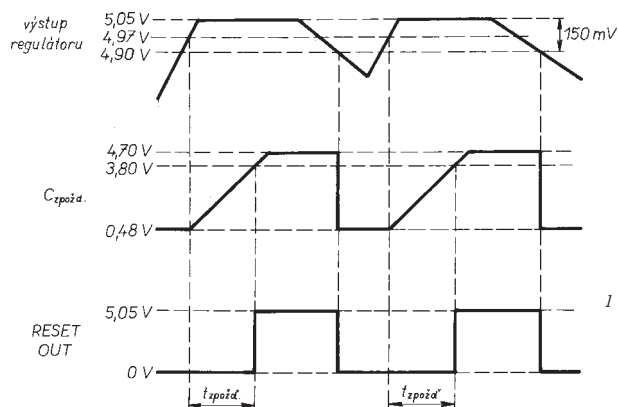


Obr. 96. Zapojení vývodů MC33267



Obr. 97. Základní a vnitřní zapojení MC33267

napětím. Dodává proud až 500 mA a obsahuje vnitřní obvod proudového omezení a ochranu proti tepelnému přetížení. Zapojení vývodů MC33267 je na obr. 96, základní zapojení včetně vnitřního zapojení je na obr. 97. Jak je z vnitřního zapojení vidět, MC33267 obsahuje rovněž obvody pro zpožděný RESET, což je výhodné při použití v napájecích obvodech zařízení s mikroprocesorem. Vstupní blokovací kondenzátor  $C_{IN}$  je nutno použít v případě, že je regulátor vzdálen více než 10 cm od filtračního kondenzátoru zdroje. Regulátor není vnitřně kompenzován a vyžaduje externí výstupní kondenzátor  $C_{OUT}$  pro zajištění stability. Doporučená kapacita kondenzátoru je 100  $\mu$ F s ekvivalentním



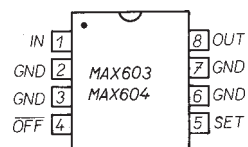
Obr. 98. Časové průběhy MC33267

sériovým odporem (ESR) menším než 0,3  $\Omega$ .

Na obr. 98 jsou znázorněny časové průběhy signálů na obvodu MC33267. Kdykoli se výstupní napětí zmenší pod 4,9 V, je zpožďovací kondenzátor  $C_{zpožd.}$  okamžitě vybit a výstup RESET je držen na úrovni L. Po zvětšení výstupního napětí nad 4,97 V se překlápí komparátor „zpožd.“ a umožní tak nabíjení zpožďovacího kondenzátoru konstantním proudem o velikosti 20  $\mu$ A. Jakmile napětí na kon-

denzátoru překročí prahové napětí 3,8 V komparátoru „reset“, ten se překlápí a na výstupu RESET se změní logická úroveň na H. Čas zpoždění je možno nastavit vhodnou volbou kapacity zpožďovacího kondenzátoru  $C_{zpožd.}$

Požadovaná délka signálu RESET je závislá na typu použitého mikroprocesoru, obvykle pro uspokojivou činnost pokrývá délku několika hodinových cyklů.



Obr. 99. Zapojení vývodů MAX603 / MAX604

#### MAX603 / MAX604

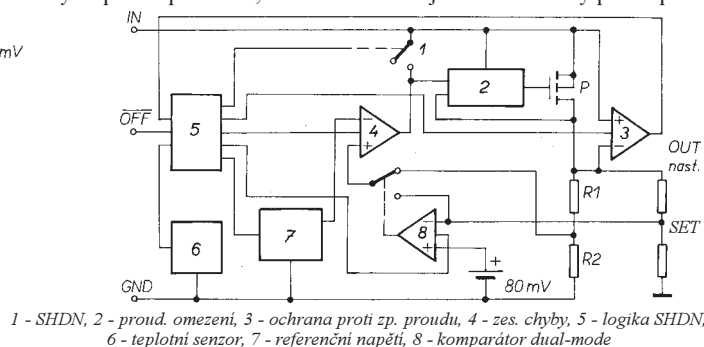
Obvody MAX603 a MAX604 výrobce Maxim jsou dodávány v osmivývodovém pouzdru DIP pro klasickou montáž nebo v pouzdru SO pro montáž SMT, jejichž zapojení je na obr. 99. Obvod MAX603 má přednastaveno výstupní napětí 5 V,

obvodů MAX603 / MAX604 na obr. 100. Velikost výstupního napětí je snímána buď vnitřním odporovým děličem se dvěma rezistory,  $R_1$ ,  $R_2$ , nebo pomocí vnějšího odporového děliče, připojeného mezi výstup OUT, vstup pro nastavení SET a zem (rezistory neoznačeny). Komparátor (Dual-Mode Comparator) testuje napětí na vstupu SET a v závislosti na jeho velikosti přepíná použitou zpětnovazební smyčku. Při napětí na vstupu SET menším než 80 mV je zvolena interní zpětná vazba z vnitřního odporového děliče a na výstupu obvodu je přednastavené výstupní napětí 5 V pro MAX603, nebo 3,3 V pro MAX604. Tento režim je vhodné zajistit připojením vstupu SET na zem (GND). Pokud je ke vstupu SET připojen externí odporový dělič, je vlivem většího napětí na tomto vstupu zapojena vnější zpětnovazební smyčka a velikost výstupního napětí je dána rovnicí:

$$U_{OUT} = U_{SET}(1 + R_1/R_2),$$

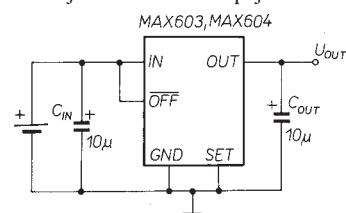
kde  $U_{SET}$  je rovno 1,2 V. Jelikož vstupní klidový proud vstupu SET je téměř nulový (typicky je 10 pA), je možno zvolit poměrně velké odpory těchto rezistorů k minimalizaci proudového odběru bez vlivu na přesnost. Obvykle se volí  $R_2 = 1,5$  M $\Omega$ .

Jak lze vidět z blokového zapojení MAX603/MAX604, jako výkonový regulační člen je použit tranzistor MOSFET s kanálem p. To přináší velkou výhodu oproti běžně užívanému zapojení s bipolárním tranzistorem p-n-p. Tranzistor MOSFET nevyžaduje žádný bázevý proud, což podstatně zmenšuje klidovou spotřebu obvodu. Regulátory s tranzistorem p-n-p mají velkou proudovou spotřebu, pokud je tento tranzistor v saturaci a je potřeba poměrně velkého bázevého proudu k dodání velkého proudu do zátěže. Použití tranzistoru MOSFET s kanálem p odstraňuje tyto problémy a obvody MAX603 / MAX604 mají vlastní klidový proud pou-



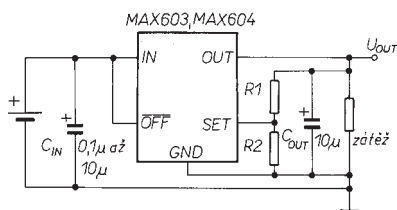
Obr. 100. Vnitřní zapojení obvodů MAX603 / MAX604

ze 15  $\mu$ A, nezávislý na velikosti proudu do zátěže, což při bateriovém napájení značně prodlužuje dobu života napájecích článků.



Obr. 101. Základní zapojení obvodů MAX603 / MAX604

obvod MAX604 má přednastaveno výstupní napětí 3,3 V při výstupním proudu až 500 mA. Navíc však oba obvody umožňují uživateli díky použitému vnitřnímu zapojení, schopnému pracovat ve dvou pracovních režimech (Dual Mode operation), nastavit výstupní napětí pomocí jednoduchého externího odporového děliče na libovolnou velikost v rozmezí již od 1,25 V do 11 V. Obvodové řešení techniky „Dual Mode operation“ je dobře patrné z blokového schématu vnitřního zapojení



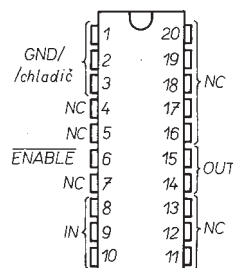
Obr. 102. Zapojení s nastavitelným výstupním napětím

Obvod lze elektronicky vypnout signálem logické úrovně L, přivedeným na ovládací vstup OFF. Tím se spotřeba obvodu ještě dále zmenší a to pod 2 μA, typicky bývá 0,1 μA. Vstup OFF je kompatibilní s logikou CMOS i TTL a nesmí zůstat nezapojen.

Obvod je rovněž chráněn proti proudovému a tepelnému přetížení a proti přepólování. Základní zapojení popisovaných obvodů MAX603/MAX604 je na obr. 101, zapojení s nastavitelným výstupním napětím pomocí externího odporového děliče je na obr. 102.

### TL75LPXX

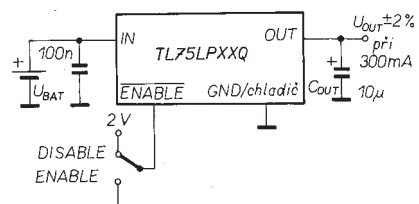
Obvody firmy Texas Instruments řady TL75LPXX jsou vyráběny ve dvacetivývodovém pouzdře TSSOP (Thin Shrink SOP) pro montáž SMT. Toto pouzdro má maximální výšku 1,1 mm a rozměry 6,5 x 4,4 mm. Zapojení vývodů pouzdra je na obr. 103.



Obr. 103. Zapojení vývodů TL75LPXX

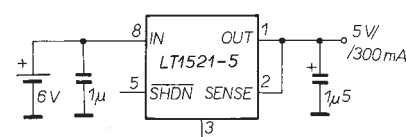
Obvody mají pevně nastavené výstupní napětí a řada obsahuje typy TL75LP48 s výstupním napětím 4,85 V, TL75LP05 s výstupním napětím 5 V, TL75LP08 s výstupním napětím 8 V, TL75LP10 s výstupním napětím 10 V a TL75LP12 s výstupním napětím 12 V, přičemž tolerance výstupního napětí je u všech typů 2 %.

Obvody jsou určeny pro použití v přesných zařízeních a jsou schopny dodat proud do zátěže až 300 mA ještě při rozdílu vstupního a výstupního napětí 220 mV.



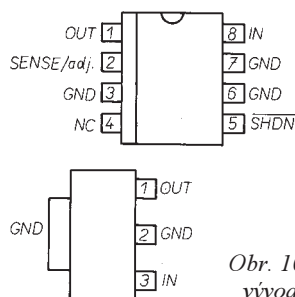
Obr. 104. Typické aplikační zapojení obvodů řady TL75LPXX

Typické aplikační zapojení obvodů řady TL75LPXX je na obr. 104. Obvody jsou též vybaveny vstupem ENABLE, umožňujícím přepnout obvod do pohotovostního (Standby) stavu a zmenšit tak klidový odběr na typicky 100 μA.



$U_{SHDN}$	OUT
$< 0,25$	OFF
$> 2,80$	ON
NC	ON

Obr. 105. Základní zapojení LT1521

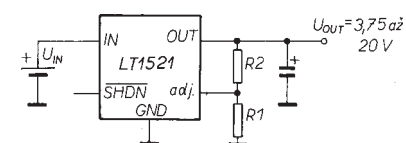


Obr. 106. Zapojení vývodů LT1521

### LT1521

Obvod LT1521 firmy Linear Technology je „mikropříkonový“ regulátor s velmi malým klidovým proudem a funkcí odpojení - Shutdown. Jeho základní zapojení je na obr. 105. Dodává se v pouzdrech určených pro povrchovou (SMT) montáž, a to v osmivývodovém plastovém pouzdře SO a ve třívývodovém pouzdře SOT-223, u něhož jsou vynechány vstupy SENSE a shutdown, SHDN, jak je patrné ze zapojení vývodů na obr. 106.

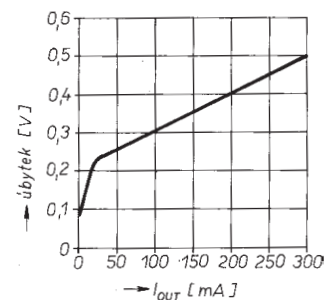
Obvod je vyráběn ve třech verzích s pevným výstupním napětím 3 V, 3,3 V a 5 V a ve verzi s výstupním napětím nastavitelným v rozmezí od 3,75 V do 20 V. Velikost výstupního napětí je dána poměrem odporů dvou externích rezistorů, za-



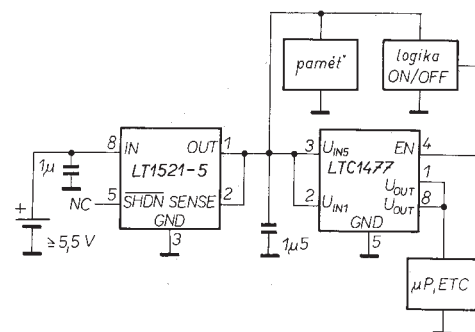
Obr. 107. Zapojení pro nastavení výstupního napětí

pojených jako odporový dělič mezi výstup (OUT) a zem (GND), na jehož střed je připojen vstup pro nastavení (adj.), viz obr. 107. Odpor rezistoru  $R_1$  v děliči je doporučen menší než 400 kΩ, aby se předešlo případným chybám, způsobeným vstupním proudem vstupu „adj.“, který je 50 nA při 25 °C a má záporný teplotní součinitel. Referenční napětí 3,75 V na tomto vstupu má naopak kladný teplotní součinitel, přibližně 15 ppm/°C, což slouží k vzájemné kompenzaci.

V klidovém stavu je odběr proudu obvodem 12 μA, po odpojení logickou úrovní L na vstupu Shutdown se ještě zmenší na pouhých 6 μA. Typickou velikost úbytku napětí mezi výstupem a vstupem při různých velikostech výstupního proudu ukazuje obr. 108.



Obr. 108. Úbytek napětí a výstupní proud



Obr. 109. Napájení zálohovací paměti klidovým proudem LT1521

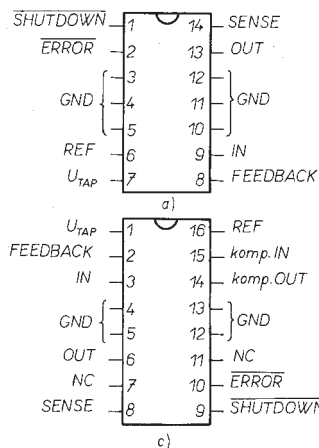
Další výhodou obvodu LT1521 je potřeba výstupního kondenzátoru s malou kapacitou, což vede k prostorové i finanční úspoře. Pro zajištění stability stačí jen 1,5 μF, zatímco starší typy regulátorů vyžadují pro stabilní funkci kapacity mezi 10 až 100 μF.

Obvod LT1521 sdružuje všechny výhody, potřebné v bateriově napájených zařízeních. V přístrojích, v nichž musí být paměťové obvody nepřetržitě napájeny, může klidový proud 12 μA obvodu LT1521 nahradit potřebu zvláštního zálohovacího zdroje. Na obr. 109 je příklad aplikace takového obvodu. Obvod LTC1477 (High side switch) zde plní úlohu elektronického spínače a při povelu z ovládací logiky ON/OFF na vstup EN odpojuje od napájení všechny obvody kromě již zmíněné ovládací logiky ON/OFF a paměťových obvodů. Protože LTC1477 má v klidovém stavu proudovou spotřebu pouze 10 nA, tento zanedbatelný příkon nijak nezkracuje dobu života napájecí baterie.

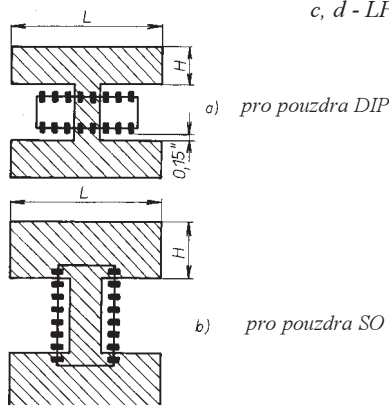
### LP2952 / LP2953

Obvody LP2952 a LP2953 od firmy National Semiconductor jsou regulovatelné „mikropříkonové“ stabilizátory kladného napětí s výstupním proudem až 250 mA. Vyrábějí se také s pevným výstupním napětím 3,3 V a 5 V. Jsou dodávány v šestnáctivývodovém pouzdře DIP a SO pro klasickou a povrchovou montáž a ve čtrnáctivývodovém pouzdru DIP (pouze typ LP2952). Zapojení vývodů je na obr. 110.

Jelikož na regulátoru vzniká při zatížení výkonová ztráta měnící se v teplo a maximální dostupná výkonová ztráta je omezena maximální povolenou teplotou polovodičového přechodu (+125 °C) a vnějšími činiteli, určujícími, jak rychle bude teplo odváděno od čipu ven, je nutno vzhledem k použití pouzdrů věnovat zvláštní pozornost návrhu desky s plošný-



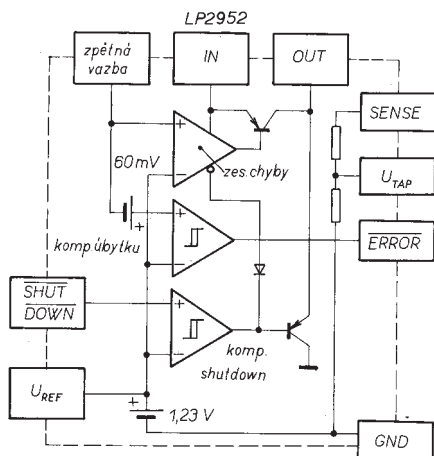
Obr. 110. Zapojení vývodů LP2952 a LP2953 (a, b - LP2952 DIP a SO, c, d - LP2953 DIP a SO)



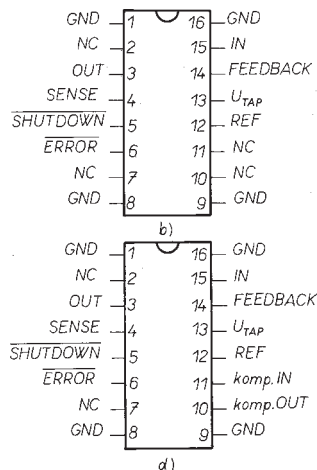
Obr. 111. Předloha desky s plošnými spoji pro zajištění dobrého odvodu tepla (L a H závisí na předpokládané výkonové ztrátě a požadovaném teplotním odporu)

mi spoji a použít vzor doporučený výrobcem - obr. 111. Pro zajištění dobrého odvodu tepla z čipu je využito jednak tělesa integrovaného obvodu, jednak několika vývodů spojených se zemí (Ground) a zapájených do desky s plošnými spoji, kde k dalšímu rozptýlení tepla slouží měděná fólie.

Vnitřní blokové zapojení obvodů LP2952 a LP2953 je na obr. 112. Na první pohled je patrná jediná odlišnost mezi těmito dvěma obvody. LP2953 obsahuje oproti typu LP2952 navíc přídavný napěťový komparátor, jehož invertující vstup je připojen na vnitřní referenční napětí 1,23 V. Přídavný komparátor má výstup s otevřeným kolektorem. Neinvertující

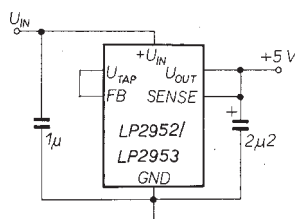


Obr. 112a. Vnitřní blokové zapojení obvodů LP2952

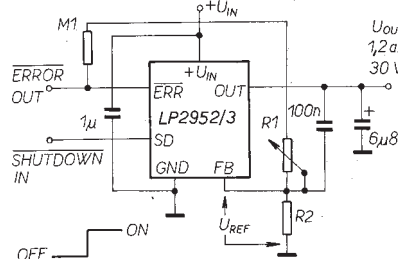


vstup a výstup komparátoru jsou vyvedeny vně pro použití v součinnosti s dalšími obvody.

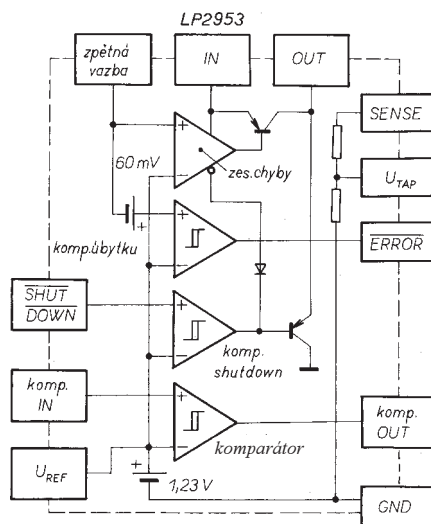
Oba obvody mají vyveden výstup referenčního napětí ( $U_{REF}$ ) a mají vstup SHUTDOWN pro funkci elektronického odpojení, aktivní při logické úrovni L. Pokud není tento vstup využíván, nebo pokud je připojen na výstup logiky s ote-



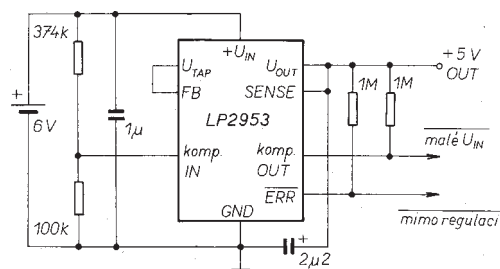
Obr. 113. Základní zapojení regulátoru s výstupním napětím 5 V



Obr. 114. Regulátor s proměnným výstupním napětím 1,23 až 29 V



Obr. 112b. Vnitřní blokové zapojení obvodů LP2953

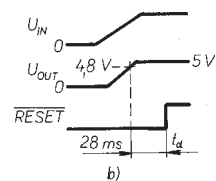
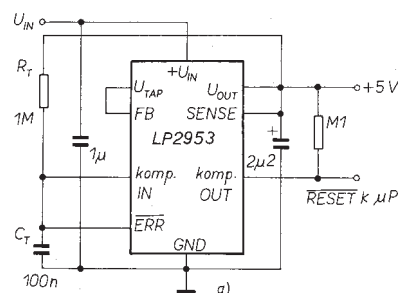


Obr. 115. Regulátor 5 V s výstupy chybových hlášení

vřeným kolektorem, musí být z důvodu vyloučení náhodných chyb připojen na vstup regulátoru přes rezistor 20 až 100 kΩ. Další komparátor - DROPOUT DETECTION COMP, komparátor úbytku - vytváří na výstupu ERROR signál logické úrovně L, kdykoli se velikost výstupního napětí z nějakého důvodu změní o více než 5 %. Tento výstup je opět s otevřeným kolektorem.

Na obr. 113 je základní zapojení regulátoru s výstupním napětím 5 V a na obr. 114 je zapojení regulátoru s proměnným výstupním napětím v rozsahu 1,23 až 29 V. Doporučený odpor  $R_2$  je 100 kΩ.

Na obr. 115 je stabilizátor s výstupním napětím 5 V a s výstupy chybových hlášení LOW BATT (malé napětí baterie,  $U_{IN}$  - upozorňuje na téměř vybitou baterii, stabilizátor však ještě pracuje uspokojivě) a OUT OF REGULATION, mimo regula-



Obr. 116. Regulátor 5 V se zpožděným signálem RESET

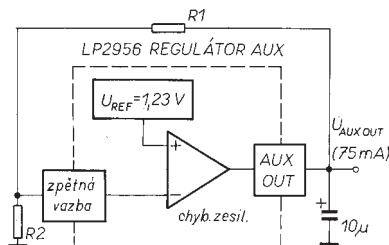
ci (vstupní napětí se zmenšilo natolik, že stabilizátor již není schopen na výstupu dodat požadované stabilizované napětí).

Na obr. 116 je regulátor 5 V se zpožděným signálem RESET pro mikroprocesor při zapnutí a časové průběhy obvodu. Doba zpoždění je určena časovou konstantou danou kapacitou kondenzátoru  $C_T$  a odporem rezistoru  $R_T$ .

Na obr. 117 je zapojení bateriově napájeného zdroje s hlášením LOW BATT a připojením zálohovacího napájení. Obvod připojí zálohovací článek NiCd pro napájení paměti tehdy, když se napětí hlavní napájecí olověné baterie zmenší

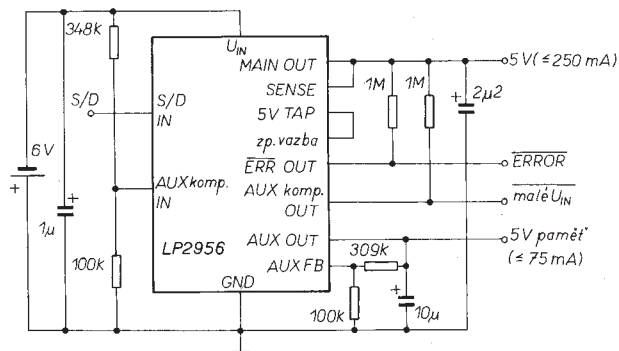






Obr. 123. Přídavný stabilizátor s nastavitelným výstupním napětím

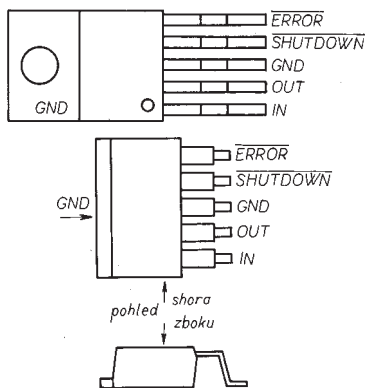
blokovat tantalovým nebo hliníkovým elektrolytickým kondenzátorem s kapacitou 10 µF. Na obr. 124 je zapojení obvodu LP2956 v bateriově napájeném zdroji 5 V s pomocným výstupem pro napájení paměťových obvodů. Zapojení dále obsahuje výstupy chybových hlášení ERROR, „malé  $U_{IN}$ “ (LOW BATT) a vstup pro elektronické odpojení, S/D, který je aktivní při úrovni H a odpojuje hlavní regulátor, zatímco zařízení připojené k přídavnému regulátoru zůstává dále napájeno.



Obr. 124. Typické aplikační zapojení obvodu LP2956

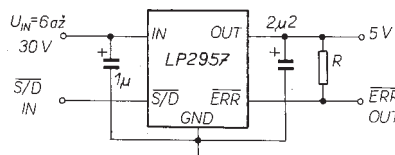
## LP2957

Obvod LP2957 je další z řady „mikro-přikonových“ stabilizátorů firmy National Semiconductor a je určen pro stabilizaci napájecího napětí na deskách s mikroprocesory. Dodává se s výstupním napětím 5 V v pěťvývodovém pouzdru TO-220 a pro povrchovou montáž v pouzdru TO-263. Zapojení vývodů je na obr. 125.

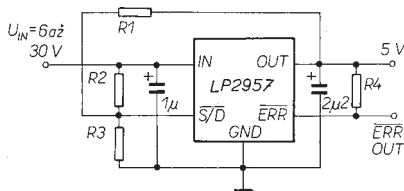


Obr. 125. Zapojení vývodů obvodu LP2957

Obvod má výstup ERROR a vstup SHUTDOWN se stejnou funkcí, jak byla popsána u obvodů LP2952/LP2953. Základní zapojení obvodu LP2957 je na obr. 126. Pokud požadujeme aplikaci funkce Snap-On/Snap-Off, zapojíme obvod podle obr. 127. Obvod se vypíná při zmenšení vstupního napětí pod 5,5 V a zapne se po dosažení 7 V.



Obr. 126. Základní zapojení obvodu LP2957



Obr. 127. Zapojení obvodu LP2957 s funkcí Snap-On/Snap-Off

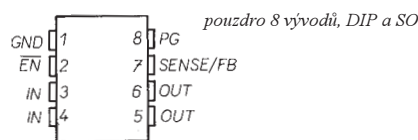
## TPS7XXX

Obvody řady TPS7XXX, vyvinuté firmou Texas Instruments, patří k nejmodernějším typům stabilizátorů s malým

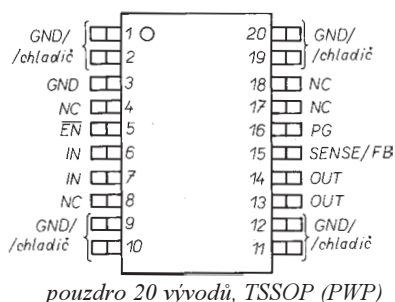
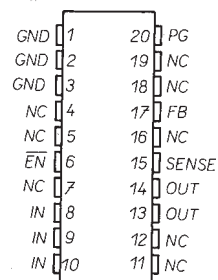
úbytkem napětí na regulačním článku, což vede nejen k finanční úspoře, ale i ke zlepšení užitečných vlastností zařízení a tím i zvětšení komfortu pro konečného uživatele. Aby splnila výše uvedené požadavky a výrazně zmenšila potřebný napěťový úbytek a minimální klidový proud pod velikost obvyklou u konvenčně používaných regulátorů s malým úbytkem napětí na regulačním článku - Low Dropout Voltage Regulators (LDO), nahradila firma Texas Instruments v IO obvykle používaný regulační bipolární tranzistor vodivosti p-n-p tranzistorem typu pMOS. Protože se tranzistor pMOS chová jako rezistor s malým odporem, úbytek napětí na něm je velmi malý (např. maximálně 32 mV při proudu 100 mA u regulátoru TPS7150), a jeho velikost je přímo úměrná výstupnímu proudu. Navíc, jelikož je tranzistor typu pMOS napěťově řízená součástka, klidový proud je velmi malý a jeho velikost zůstává nezávislá na velikosti proudu dodávaného stabilizátorem do zátěže - to jsou dva klíčové parametry, přinášející výrazné prodloužení doby života napájecích článků a tím i doby využití z nich napájeného zařízení, neboť napájecí články je za těchto podmínek nutno méně často vyměňovat, popřípadě dobíjet.

## Řada TPS71XX

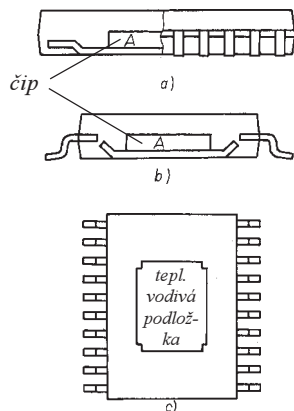
Regulátory řady TPS71XX mohou dodat výstupní proud až 500 mA. Dodávají se v osmivývodovém pouzdru DIP, označeném písmenem P a pro povrchovou montáž v osmivývodovém pouzdru SO, označeném písmenem D, ve dvacetivývodovém pouzdru TSSOP ve standardním a teplotně vylepšeném provedení, označeném písmeny PW a PWP. Zapojení vývodů u jednotlivých typů pouzder je na obr. 128.



Obr. 128. Zapojení vývodů pouzder u obvodů TPS71XX



pouzdro 20 vývodů, TSSOP (PWP)

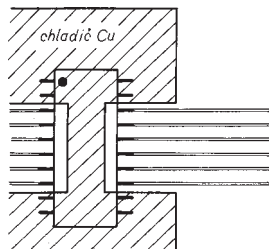


Obr. 129a, b, c. Mechanické provedení pouzdra PWP

Mechanická konstrukce teplotně vylepšeného pouzdra PWP vychází z provedení dvacetivývodového pouzdra TSSOP, obsahuje však navíc teplotně vodivou podložku, která umožňuje dobrý tepelný kontakt mezi pouzdrem integrovaného obvodu a měděnou fólií na desce s plošnými spoji. Návrh provedení pouzdra PWP je na obr. 129.

Součástka v provedení SMD a vyzářením většího tepelného výkonu jsou dva vzájemně protichůdné požadavky. Většina nízkých výkonových pouzder, odvozených od pouzdra typu TO-220, má vývody vytvářené tak, aby je bylo možno aplikovat na deskách osazovaných technikou SMT. Nicméně tato pouzdra mají několik nedostatků. Nesplňují požadavky na velmi malou vestavnou výšku (2 mm) a nenabízejí dostatečný počet vývodů pro zapojení některých integrovaných obvodů. Na druhé straně, běžná nevýkonová pouzdra pro SMT omezují potřebnou výkonovou ztrátu, což zmenšuje počet do těchto pouzder aplikovatelných analogových obvodů.

Pouzdro PWP (teplotně zdokonalené pouzdro TSSOP) kombinuje zmenšenou rozteč vývodů v SMT s tepelnými vlastnostmi, srovnatelnými s mnohem většími výkonovými pouzdry, pouzdro je navrženo pro optimální přenos tepelné energie na měděnou fólii desky s plošnými spoji. Protože pouzdro TSSOP má velmi malé rozměry i vlastní objem, odvod tepla je zdokonalen vylepšením tepelně vodivých cest, odvádějících teplo od čipu. V pouzdru PWP je použita tepelně vodivá podložka (obr. 129a, b, c), která umožňuje přímý kontakt tepla vyzařujícího pouzdra integrovaného obvodu s měděnou fólií desky s plošnými spoji. Jestliže je spodní plocha této podložky připojena nebo jinak spojena s externím chladičem, je z tohoto ultranízkého pouzdra pro SMT možno odvést poměrně velký ztrátový výkon. Velikost vyzářeného ztrátového výkonu je tedy potom závislá na návrhu desky s plošnými spoji. Doporučená předloha spojového obrazce pro pouzdro PWP je na obr. 130. Např. plocha měděné fólie 8 cm<sup>2</sup> umožňuje rozptýlit ztrátový výkon 2,5 W při přirozeném proudění vzduchu. Zvětšení chladi-



Obr. 130. Doporučená předloha spojového obrazce pro pouzdro PWP

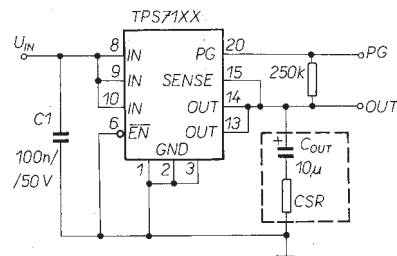
cí plochy umožní zvětšit ztrátový výkon součástky. Limit vyzářeného ztrátového výkonu lze nadále zvětšit zavedením nuceného oběhu vzduchu (malý ventilátor). Tepelně vodivá podložka je přímo spojena se substrátem integrovaného obvodu, což u obvodů řady TPS71XX znamená spojení se zemí součástky. Povrch chladičové plochy může být tedy spojen s elektrickou zemí obvodu (nebo může zůstat nepřipojen). K dalšímu odvodu tepla slouží čtyři páry krajních vývodů pouzdra PWP, které jsou také přímo propojeny se substrátem a s tepelně vodivou podložkou. Zbývá tedy 12 volných vývodů, které mohou být použity jako vstupy a výstupy obvodu.

Vnitřní zapojení integrovaných obvodů řady TPS71XX je na obr. 131. Elektronické spínače jsou zakresleny v rozpojené poloze, to je při aktivním vstupu EN. Tento vstup umožňuje elektronicky ovládat odpojení zátěže a uvést regulátor do klidového, pohotovostního režimu (standby mode). V tomto stavu je odběr regulátoru typicky 0,5 µA. Velikost výstupního napětí je vnitřně nastavena odporem rezistorů R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>.

U obvodu TPS7101, což je verze s externě nastavitelným výstupním napětím, má rezistor R<sub>1</sub> nulový odpor a rezistor R<sub>2</sub> není zapojen.

Výstup PG (power-good) může být použit k indikaci pracovního stavu regulátoru. Vnitřní komparátor monitoruje výstupní napětí a jestliže se výstupní napětí zmenší na velikost mezi 92 až 98 % jmenovité velikosti, tranzistor se otevře a na výstupu PG se změní stav na úroveň L. Výstup je s otevřeným kolektorem (drain) a pokud má být použit, musí být připojen k výstupnímu napětí přes externí rezistor - viz obr. 132, kde je základní zapojení pro obvody řady TPS71XX s pevným výstupním napětím. Tento výstup může být využit k aktivaci obvodu RESET nebo pro indikaci malého napětí baterie (low-battery indicator).

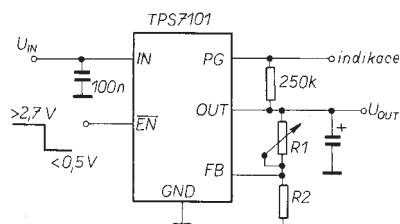
Vstup SENSE u obvodů s pevně nastaveným výstupním napětím musí být pro zajištění správné funkce připojen k výstu-



Obr. 132. Základní zapojení pro obvody TPS71XX s pevným výstupním napětím

pu regulátoru. Obvykle bývá toto propojení realizováno co nejkratší cestou, nicméně může být uskutečněno až na desce zátěže, zvláště při delších přírodních vodičích, aby tak byly plně zachovány regulační vlastnosti obvodu. U obvodu TPS7101 je tento vstup označen FB (feedback, zpětná vazba) a je připojen ke středu odporového děliče R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>. Připojování vstupu SENSE přes přídavný člen RC, sloužící obvykle k dodatečné filtraci, není doporučeno, neboť to může způsobit nežádoucí oscilace regulátoru.

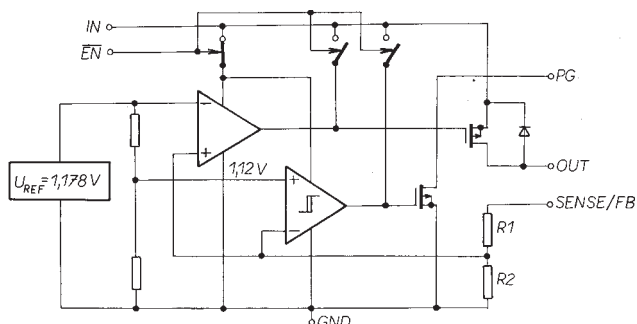
Zapojení stabilizátoru s nastavitelnou velikostí výstupního napětí s obvodem TPS7101 je na obr. 133. Odpor rezistorů R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> by měl být zvolen s ohledem na doporučený proud děličem 7 µA. Doporučený odpor pro R<sub>2</sub> je 169 kΩ, odporem rezis-



Obr. 133. Stabilizátor s TPS7101 s nastavitelnou velikostí výstupního napětí

toru R<sub>1</sub> je nastaveno požadované výstupní napětí. Menší odpory R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> mohou být použity, ale nenabízejí žádné podstatné zlepšení a zvětšují zbytečně proudovou spotřebu. Použití větších odporů může způsobit přídavnou chybu, neboť se již uplatňuje vstupní klidový proud vstupu FB (feedback, zpětná vazba). V tabulce 5 jsou doporučené odpory rezistorů R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> pro některé běžné velikosti výstupního napětí.

Jak je patrné z vnitřního zapojení na obr. 131, mají obvody vestavěny paralelně k regulačnímu výkonovému tranzistoru pMOS diodu, zapojenou ve zpětném směru. Tím je v každém případě zajištěna ochrana proti přepólování obvodu, kte-



Obr. 131. Vnitřní zapojení obvodů řady TPS71XX

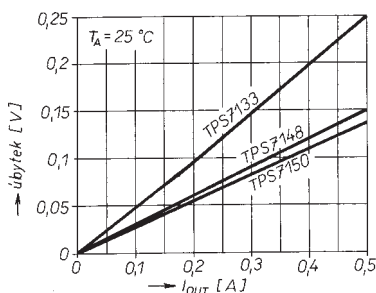


Tab. 5. Odporů rezistorů  $R_1$  a  $R_2$  pro různá výstupní napětí

Výstupní napětí	$R_1$	$R_2$
2,5 V	191 k $\Omega$	169 k $\Omega$
3,3 V	309 k $\Omega$	169 k $\Omega$
3,6 V	348 k $\Omega$	169 k $\Omega$
4 V	402 k $\Omega$	169 k $\Omega$
5 V	549 k $\Omega$	169 k $\Omega$
6,4 V	750 k $\Omega$	169 k $\Omega$

ré např. krátkodobě vzniká i odpojením vstupního napájecího napětí. Obvody rovněž obsahují ochranu proti proudovému a tepelnému přetížení. Jestliže teplota obvodu překročí 165 °C, teplotní ochrana obvodu vypne. Po ochlazení součástky začne obvod znovu normálně pracovat.

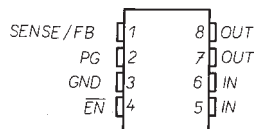
Na obr. 134 je graf závislosti úbytku napětí na regulačním tranzistoru na velikosti výstupního proudu pro obvody TPS7133, 48, 50. Jsou na něm názorně vidět vynikající vlastnosti zapojení s regulačním tranzistorem typu pMOS.



Obr. 134. Graf závislosti úbytku napětí na velikosti výstupního proudu regulátoru TPS71XX

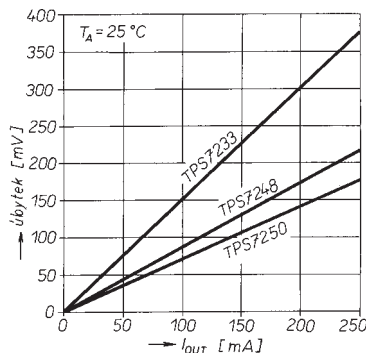
#### Rada TPS72XX

Obvody řady TPS72XX se od v předchozí části popisovaných obvodů TPS71XX liší především velikostí maximálního výstupního proudu, který je u této řady poloviční, tedy 250 mA. Protože tyto obvody mají menší výkonové ztráty, nevyrábějí se ve výkonovém pouzdře PWP, ale jen v osmivývodových pouzdrech DIL (označení P) pro klasickou montáž, v pouzdru SO (označení D) a rozšířeném SO (označení PW) pro montáž technikou SMT. Zapojení vývodů, které platí pro všechny typy uvedených pouzder, je na obr. 135.



Obr. 135. Zapojení vývodů obvodů řady TPS72XX

Vnitřní zapojení obvodů je stejné jako na obr. 131, elektrické parametry jsou oproti předchozí řadě horší, zejména velikost úbytku napětí mezi výstupem a vstupem je poněkud větší, avšak díky použité topologii je i tak relativně malá - viz obr. 136. Rovněž základní zapojení obvodů TPS72XX zůstává při respektování jiného číslování vývodů stejné jako na obr. 132 a 133. Nepatrně horší elektrické parametry



Obr. 136. Graf závislosti úbytku napětí na velikosti výstupního proudu TPS72XX

oproti řadě TPS71XX jsou vykompenzovány cenou, která je o 40 % nižší.

#### Rada TPS 73XX

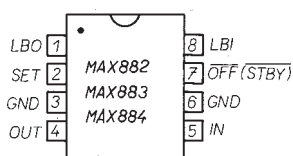
Obvody TPS73XX jsou oproti předcházejícím řadám TPS71XX a TPS72XX pro lepší spolupráci v obvodech s mikroprocesory vybaveny navíc výstupem RESET s aktivní úrovní L, který zde nahrazuje výstup PG a platí pro něj tytéž podmínky. Signál RESET je zpožděný, doba zpoždění je vnitřně pevně nastavena a pohybuje se v rozmezí 185 až 200 ms.

Zapojení vývodů integrovaných obvodů řady TPS73XX je stejné jako zapojení vývodů obvodů TPS71XX na obr. 128 až na to, že výstup PG je nutno zaměnit za výstup RESET. Též základní zapojení je stejné jako na obr. 132 a 133. TPS73XX se nevyrábějí v pouzdru PWP.

Výstupní proud této řady je maximálně 250 mA, elektrické parametry jsou jinak shodné s parametry obvodů základní řady TPS71XX.

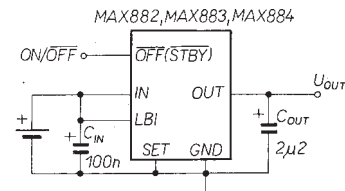
#### MAX882 / MAX883 / MAX884

Obvody MAX882, 883, 884 firmy Maxim jsou lineární regulátory, schopné při výstupním napětí 5 V (MAX883) nebo 3,3 V (MAX882, MAX884) dodat do zátěže výstupní proud větší než 200 mA. Všechny obvody díky použitému zapojení, umožňujícímu obvodům pracovat dvěma způsoby (Dual Mode Operation - popsáno u obvodů MAX603, 604), dávají uživateli možnost nastavit výstupní napětí pomocí jednoduchého externího odporového děliče na libovolnou velikost v rozmezí již od 1,25 do 11 V. Vyrábějí se v osmivývodových pouzdrech DIP a SO, jejichž zapojení vývodů je na obr. 137.

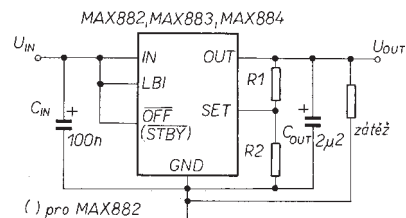


Obr. 137. Zapojení vývodů obvodů MAX882, 883, 884

Na obr. 138 je základní zapojení obvodů MAX882, 883, 884 pro pevná výstupní napětí. Požadujeme-li regulovatelný výstup, použijeme zapojení na obr. 139, kde je nastavení určeno poměrem odporů rezistorů  $R_1$ ,  $R_2$  v napěťovém děliči, na jehož střed je připojen zpětnovazební vstup SET pro nastavení výstupního napětí. Od-



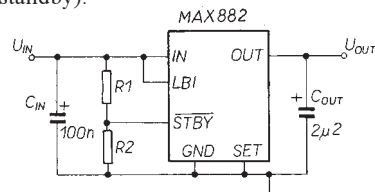
Obr. 138. Základní zapojení obvodů MAX882 / 883 / 884



Obr. 139. Zapojení MAX882 / 883 / 884 pro nastavení výstupního napětí

por rezistoru  $R_1$  by neměl být větší než 1,5 M $\Omega$ .

Obvod MAX882 obsahuje vstup STBY (standby), zatímco obvody MAX883, MAX884 mají na stejném vývodu vstup OFF. Hlavní rozdíl mezi těmito vstupy je v tom, že vstup STBY je vstupem komparátoru a umožňuje uživateli nastavit napěťový práh, při kterém se regulátor přepne do pohotovostního stavu, zatímco vstup OFF je vstupem logiky a jeho aktivací se celkově vypnou celé obvody MAX883, MAX884. V tomto režimu je klidový odběr obvodů menší než 1  $\mu$ A. Pokud je aktivován vstup STBY, je odběr obvodu MAX882 typicky 7  $\mu$ A, protože je sice rozpojen vstup s výstupem, ale některé vnitřní obvody včetně komparátoru pro indikaci nedostatečného napětí baterie jsou v činnosti. Tento režim (standby) je užitečný v aplikacích, v nichž je funkce komparátoru pro indikaci nedostatečného napětí baterie nezbytná i při přepnutí obvodu do klidového stavu. Vhodnou volbou odporů rezistorů  $R_1$ ,  $R_2$  v odporovém děliči na obr. 140 je možno nastavit na vstupu STBY úroveň minimálního vstupního napětí, při jehož zmenšení obvod odpojí zátěž a přepne se do pohotovostního stavu (standby).



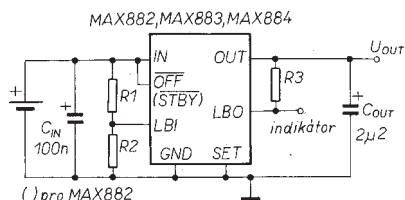
$$\text{prahové napětí} = U_{\text{STBY}} \frac{R_1 + R_2}{R_2},$$

$$\text{kde } U_{\text{STBY}} = 1,2 \text{ V}$$

Obr. 140. Nastavení velikosti vstupního napětí pro přepnutí do režimu standby

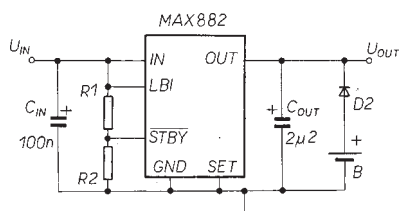
Všechny uvedené obvody obsahují komparátor pro indikaci nedostatečného napětí baterie, jehož neinvertní vstup je připojen na vnitřní referenční napětí 1,2 V a invertní vstup je připojen na vstup LBI (Low-Battery Input), který přes odporový dělič snímá velikost vstupního napětí. Není-li použit, má být propojen se

vstupní svorkou IN regulátoru. Velikost napětí na obou vstupech komparátoru je porovnávána a pokud se napětí na vstupu LBI zmenší pod velikost referenčního napětí 1,2 V, komparátor se překlápí, čímž je indikováno nedostatečné vstupní napětí. Výstup komparátoru (výstup LBO - Low-Battery Output) je s otevřeným kolektorem a vyžaduje tedy připojit jeden externí rezistor z výstupu OUT stabilizátoru. Pokud je výstup LBO aktivní, je na něm logická úroveň L. Komparátor má na vstupu zavedenu přídavnou hysterezi 7 mV ke zlepšení šumové imunity během přepínání a k vyloučení zámků. Větší hystereze může být zavedena připojením rezistoru s velkým odporem mezi vstup LBI a výstup LBO (neinvertující vstup a výstup komparátoru). Na obr. 141 je ukázka zapojení pro indikaci nedostatečného napětí baterie. Volbou odporu rezistorů  $R_1$ ,  $R_2$  je možno nastavit velikost vstupního napětí, při jehož zmenšení komparátor změnou logické úrovně na výstupu LBO indikuje nedostatečné vstupní napětí. Klidový vstupní proud vstupní LBI je typicky 10 pA a maximálně 50 nA, takže  $R_2$  může být větší než 1 MΩ.



Obr. 141. Zapojení MAX882, 3, 4 k indikaci nedostatečného napětí baterie

Na obr. 142 je zapojení pro krátkodobé bateriové zálohování s použitím obvodu MAX882. Při zmenšení vstupního napětí pod velikost nastavenou odporovým děličem s  $R_1$ ,  $R_2$  je aktivována funkce Standby a od vstupu se odpojí výstup obvodu MAX882. Za této situace je dodáván napájecí proud do zátěže ze zálohovací baterie přes diodu  $D_2$ . Obvody ochrany proti přepólování obsažené v obvodu MAX882 chrání baterii před zpětným vybíjením přes stabilizátor. Toto zapojení je vhodné pouze pro krátkodobé napájení ze zálohovací baterie, protože výstup OUT obvodu MAX882 odebírá ze zálohovací baterie proud kolem 8 μA. V tomto zapojení není možné použít obvody MAX883, 884, jelikož nemají vstup STBY a jejich logický vstup OFF není pro tuto aplikaci vhodný.



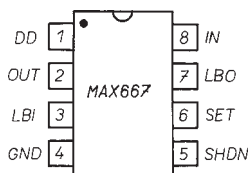
$$\text{práh } U_{LBI} = U_{LBI} \frac{R_1 + R_2}{R_2},$$

$$\text{kde } U_{LBI} = 1,2 \text{ V}$$

Obr. 142. Zapojení pro krátkodobé zálohování baterií (B - záložní baterie)

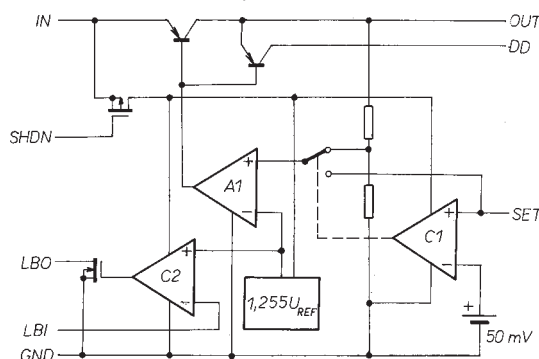
## MAX667

Obvod MAX667 firmy Maxim je lineární regulátor s výstupním napětím 5 V, schopný dodat do zátěže výstupní proud větší než 250 mA. Obvod díky použitému zapojení, umožňujícímu pracovat dvěma způsoby (Dual Mode™ Operation - popsáno u obvodů MAX603/604) dává uživateli možnost nastavit výstupní napětí pomocí jednoduchého externího odporového děliče na libovolnou velikost v rozmezí již od 1,3 V do 16 V. Vyrábí se v osmivývodových pouzdrech DIP a SO, jejichž zapojení vývodů je na obr. 143.



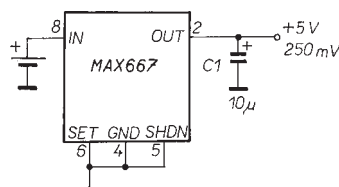
Obr. 143. Zapojení vývodů pouzdra MAX667

Obr. 144. Vnitřní blokové zapojení obvodu MAX667



Vnitřní blokové zapojení obvodu MAX667 je na obr. 144. MAX667 obsahuje mikropřikonový referenční obvod typu bandgap, chybový zesilovač, regulační tranzistor p-n-p a dva komparátory. První komparátor slouží k volbě režimu regulátoru buď s pevným nebo nastavitelným napětím, druhý komparátor je zapojen jako detektor nedostatečného napětí baterie.

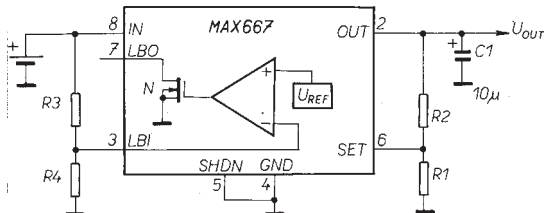
Na obr. 145 je základní zapojení obvodu MAX667 pro pevné výstupní napětí +5 V. Požadujeme-li regulovatelný vý-



Obr. 145. Základní zapojení MAX667 pro pevné výstupní napětí +5 V

stup, použijeme zapojení na obr. 146, kde je nastavení určeno poměrem odporů re-

Obr. 146. Zapojení MAX667 s nastavitelným výstupním napětím a detekci malého napětí baterie



zistorů  $R_1$ ,  $R_2$  v napěťovém děliči, na jehož střed je připojen zpětnovazební vstup SET pro nastavení výstupního napětí. Velikost výstupního napětí je dána následující rovnicí:

$$U_{OUT} = U_{SET} \frac{R_1 + R_2}{R_1},$$

$$\text{kde } U_{SET} = 1,22 \text{ V.}$$

Pro zjednodušení zvolíme  $R_1$  a odpor rezistoru  $R_2$  vypočítáme z následující rovnice:

$$R_2 = R_1 \left( \frac{U_{OUT}}{U_{SET}} - 1 \right).$$

Jelikož klidový proud vstupu SET je maximálně 10 nA, mohou být na místě  $R_1$ ,  $R_2$  použity rezistory s poměrně velkými odpory bez vlivu na přesnost nastavení. Vhodnou volbou je  $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$ . Tolerance napětí  $U_{SET}$  je menší než  $\pm 25 \text{ mV}$ , což umožňuje poměrně přesně nastavit velikost výstupního napětí bez použití nastavovacích trimrů, pouze dvěma pevnými rezistory.

Pomocí funkce Shutdown - vstup SHDN - je možno obvod MAX667 uvést

do klidového (Standby) režimu se zmenšeným příkonem. Pokud je vstup SHDN na úrovni L, obvod pracuje normálně. Při přivedení napětí většího než 1,5 V přejde čip do klidového stavu se zmenšeným proudovým odběrem nepřesahujícím 1 mA, přičemž výstup regulátoru je odpojen od zátěže.

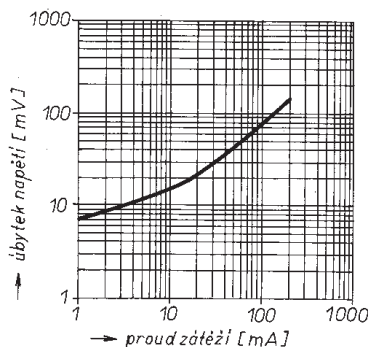
Obvod MAX667 obsahuje rovněž zapojení pro detekci nedostatečného napětí baterie. Jestliže se napětí na vstupu LBI zmenší pod velikost vnitřního referenčního napětí, které je 1,22 V, překlápí se komparátor a tranzistor s otevřeným kolektorem na výstupu LBO sepne. Vstupní napětí pro aktivaci vstupu LBI může být nastaveno na libovolnou velikost - musí však být větší než referenční napětí - připojením vnějšího odporového děliče  $R_3$ ,  $R_4$  vypočítaného z následující rovnice:

$$R_3 = R_4 \left( \frac{U_{BAT}}{U_{LBI}} - 1 \right),$$

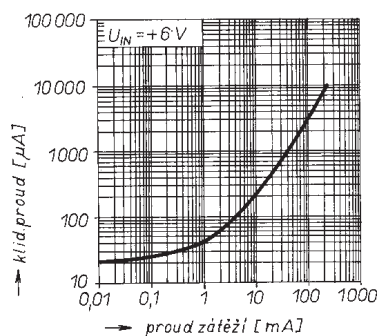
kde  $U_{BAT}$  je požadovaný napěťový práh pro aktivaci vstupu LBI.

Vstupní klidový proud vstupu LBI nepřesahuje 10 nA a tak mohou mít rezistory  $R_3, R_4$  s ohledem na minimalizaci spotřeby proudu poměrně velké odpory. Například pokud je výstupní napětí  $U_{OUT} = 5 \text{ V}$  a velikost napětí na vstupu regulátoru, při které se má aktivovat vstup LBI, je zvolena 5,5 V, je vhodný odpor  $R_3 = 8,2 \text{ M}\Omega$  a  $R_4 = 2,4 \text{ M}\Omega$ . Je však nutno věnovat pozornost provedení desky s plošnými spoji, aby případný svod nezpůsobil přidavnou chybu nastavení.

Na obr. 147 je graf závislosti velikosti napětového úbytku (drop-out) na proudu do zátěže, na obr. 148 je závislost klidového proudu na velikosti proudu do zátěže.

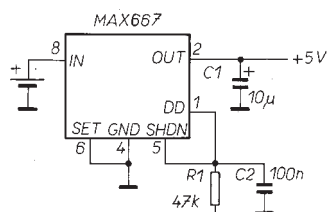


Obr. 147. Graf závislosti velikosti napětového úbytku (drop-out) na proudu do zátěže



Obr. 148. Graf závislosti klidového proudu na velikosti proudu do zátěže

Jak již bylo řečeno, jako výkonový regulační prvek používá obvod MAX667 interní bipolární tranzistor vodivosti p-n-p. Pokud se vstupní napětí zmenší pod požadovanou velikost napětí výstupního, regulační tranzistor p-n-p se dostane do sepnutého stavu, zatímco stabilizační vlastnosti jsou ztraceny. I když je v tomto stavu proud do zátěže třeba jen několik mikroampér, báze regulačního tranzistoru je buzena proudem přesahujícím 5 mA. Na obr. 149 je zapojení obvodu MAX667, při

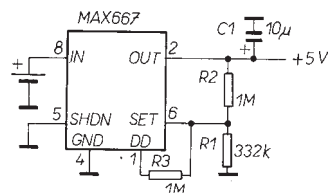


Obr. 149. Zapojení pro zmenšení bázového proudu

němž může být tento budící bázový proud výrazně zmenšen. Potom se zbytečně nevybíjí napájecí baterie, popř. je doba, za níž se baterie vybije, podstatně prodloužena.

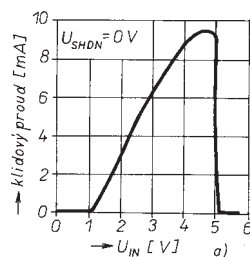
Výše popsaného stavu je na obr. 149 dosaženo spojením výstupu DD (Dropout Detector) se vstupem SHDN (Shutdown) s rezistorem  $R_1$  a paralelním kondenzátorem  $C_2$ , připojeným na zem (GND). Touto úpravou je zmenšen klidový proud bez zátěže na přibližně 160  $\mu\text{A}$ . Jakmile výstup DD aktivuje vstup SHDN, výstupní napětí se zmenší na velikost přibližně 3 V, nikoli na nulu, protože vstup SHDN je aktivován pouze částečně.

Druhé alternativní zapojení na obr. 150 ještě dále zmenšuje klidový proud oproti předchozímu zapojení. Výstupní

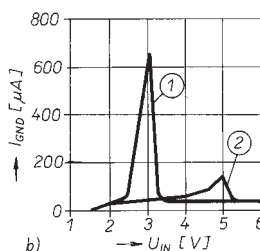


Obr. 150. Zapojení pro zmenšení bázového proudu s možností samostatně využít vstup SHDN

napětí musí být nastaveno vnějším odporovým děličem  $R_1, R_2$ , aby výstup DD zmenšoval velikost výstupního napětí úměrně zmenšení napětí vstupního pomocí proudu do vstupu SET přes rezistor  $R_3$ . Klidový proud zůstává malý při zmenšení vstupního napětí až do velikosti 3,5 V a poté se prudce zvětší při dalším poklesu směrem k 0 V. Ačkoliv je špičkový proud zapojení z obr. 150 větší než u zapojení na obr. 149, může být toto zapojení výhodnější vzhledem k tomu, že se tento proud zvětšuje až pod hranici napětí, kdy je využitelná většina typů baterií. Při zmenšení vstupního napětí pod úroveň 5 V sleduje výstup toto napětí s odečtem úbytku napětí na regulačním tranzistoru. Zapojení navíc oproti předchozímu umožňuje odděleně využít vstup SHDN (Shutdown).



Obr. 151a. Klidový proud zapojení z obr. 145



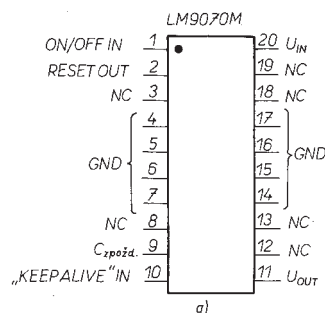
Obr. 151b. Klidový proud zapojení z obr. 149 (1) a obr. 150 (2)

## ADP3367 / ADP667

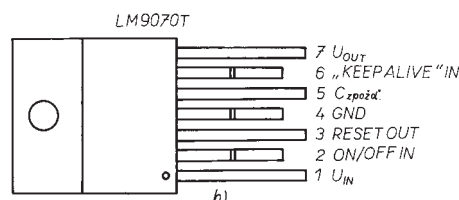
Obvody ADP3367 a ADP667 amerického výrobce Analog Devices jsou obdobou výše popsaného obvodu MAX667 od firmy Maxim. Jsou s tímto obvodem „pinově“ kompatibilní (mají stejné zapojené vývody) a lze je tedy v dříve uvedených zapojeních vzájemně nahradit. V některých elektrických parametrech se však nepatrně liší a je tedy v případě potřeby vhodné podrobně prostudovat jejich katalogové údaje.

## LM9070

Obvod LM9070 od firmy National Semiconductor má pevné výstupní napětí 5 V a je schopen dodat do zátěže proud až 250 mA. Je vyráběn v sedmivývodovém pouzdru TO-220 pro klasickou montáž a ve dvacetivývodovém pouzdru SO pro montáž technikou SMT, jejichž zapojení vývodů je na obr. 152a, b, a v sedmivývodovém pouzdru TO-263, které má stejné zapojení vývodů jako je tomu u pouzdra TO-220.



Obr. 152a. Zapojení vývodů LM9070 v pouzdru TO-220

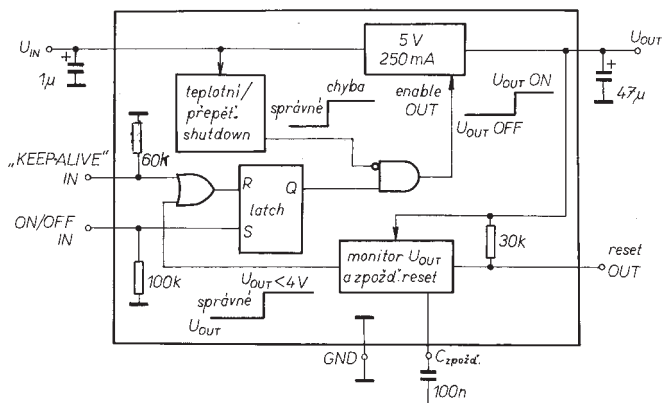


Obr. 152b. Zapojení vývodů LM9070 v pouzdru SO

Jak vyplývá z vnitřního blokového zapojení obvodu LM9070 na obr. 153, obvod obsahuje výstup zpožděného signálu RESET s aktivní úrovní L, který může být použit k resetování mikroprocesorového systému po zapnutí zařízení nebo při zmenšení výstupního napětí regulátoru (z jakéhokoli důvodu) mimo stanovený rozsah. Dobu zpoždění, po níž se výstup RESET vrátí do úrovně H, je možno nastavit libovolně vhodnou volbou kapacity kondenzátoru  $C_{ZPOZD}$ , připojenému k takto označenému vstupu u obvodu LM9070. Interval zpoždění je určen následující rovnicí:

$$t_{ZPOZD} = \frac{3,8 \text{ V} \cdot C_{ZPOZD}}{20 \mu\text{A}}$$

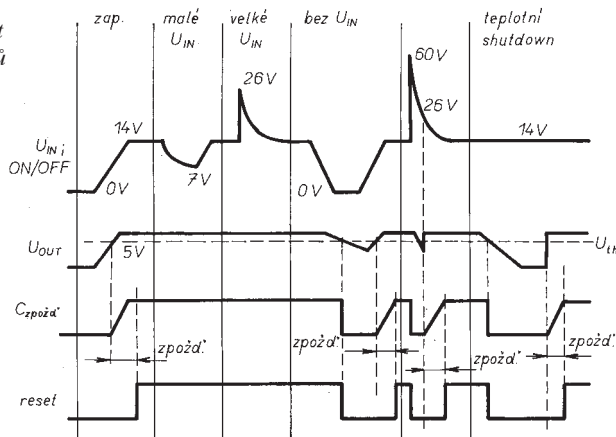




Obr. 153. Vnitřní blokové zapojení obvodu LM9070

Jelikož je LM9070 určen pro nasazení v přenosných, bateriově napájených přístrojích, je vybaven množstvím ochranných obvodů, například ochranou proti obrácenému připojení (přepólování) baterie, přepětí, teplotnímu přetížení a vstupním napěťovým špičkám. Závislost napěťových průběhů na vstupu a výstupu regulátoru, na kondenzátoru  $C_{zpožd}$  a stavu na výstupu RESET je patrna z diagramu na obr. 154. Návrh obvodu LM9070 byl podřízen požadavku na bezchybnou činnost bez falešného generování signálu RESET i pokud je obvod vystaven vysokofrekvenčním polím a to až do intenzity 300 V/m v kmitočtovém pásmu od 2 do 400 MHz.

Obr. 154. Závislost napěťových průběhů u obvodu LM9070



Základní zapojení obvodu LM9070 je na obr. 155. U obvodu LM9070 je použito jedinečného ovládání zapnutí/vypnutí výstupu regulátoru dvěma ovládacími vstupy (ON/OFF a Keep-Alive). Vstup ON/OFF může být ovládán externím, ať už mechanickým nebo elektronickým spínačem, zatímco vstup Keep-Alive je ovládán výstupním signálem z mikroprocesoru. To

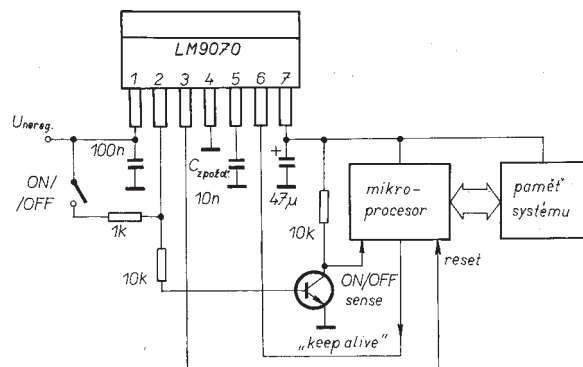
umožňuje po vypnutí zachovat napětí na výstupu regulátoru do té doby, než jsou všechny potřebné operace systému dokončeny, potřebná data jsou uložena, a teprve

Obr. 155. Základní zapojení obvodu LM9070

umožňuje po vypnutí zachovat napětí na výstupu regulátoru do té doby, než jsou všechny potřebné operace systému dokončeny, potřebná data jsou uložena, a teprve

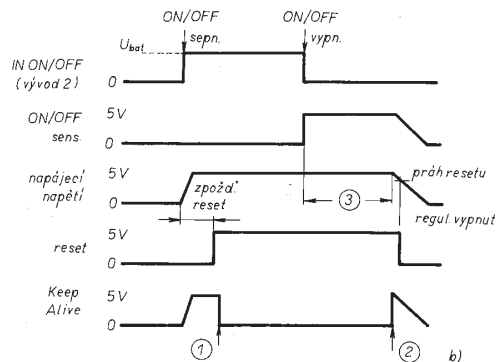
poté je výstup regulátoru odpojen od zátěže signálem logické úrovně H z výstupu řídicího mikroprocesoru.

Dále je uvedena pravdivostní tabulka (dole na této stránce), z které je dobře patrný stav na výstupu regulátoru a na výstupu RESET v závislosti na logických stavech na ovládacích vstupech ON/OFF a Keep - Alive.



Obr. 156a. LM9070, využívající obou logických řídicích vstupů

Zapojení na obr. 156a představuje praktickou aplikaci obvodu LM9070 s využitím obou logických řídicích vstupů. Sepnutím spínače ON/OFF je regulátor uveden do normálního provozního stavu a z výstupu je napájen řídicí systém, který při tomto stavu drží vstup Keep-Alive na logické úrovni L. Z kolektoru tranzistoru n-p-n je získáván signál pro mikrokontrolér - při rozpojení spínače ON/OFF se tranzistor uzavře a napájení systému by mělo být odpojeno. Po detekci úrovně H na vstupu „ON/OFF sense“ mikroprocesoru vykoná mikroprocesor před tím, než se vypne, všechny potřebné systémové úkony. Systém do té doby zůstává z regulátoru plně napájen. Po vykonání všech před vypnutím potřebných operací vyšle mikroprocesor na vstup Keep-Alive regulátoru signál s logickou úrovní H. Napájení systému je odpojeno a regulátor LM9070 přejde do klidového režimu (standby) s malou proudovou spotřebou do doby, dokud není opět aktivován signálem na vstupu ON/OFF. Časové průběhy zapojení jsou na obr. 156b.

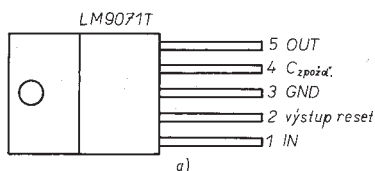


Obr. 156b. Časové průběhy zapojení (1-nastavit na L, 2- nastavit na H pro vypnutí systému, 3 - interval Keep-Alive

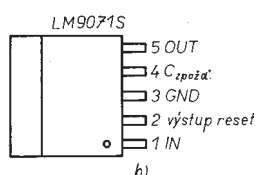
Vstup ON/OFF	Vstup Keep - Alive	Výstupní napětí	Výstup RESET	Pracovní stav obvodu LM9070
L	x	0 V	L	klidový stav, malý příkon
↑	x	5 V	↑	výstup se zapíná
H	x	5 V	H	běžný pracovní stav
↓	H	0 V	L	výstup se odpojuje
↓	L	5 V	H	výstup je přidržen vstupem Keep - Alive
↑	L	5 V	H	výstup zůstává připojen
H	x	$\Delta U_{OUT} \geq -300 \text{ mV}$	L	výstup ztrácí regulaci, je generován signál RESET
L	L	$U_{OUT} \leq 4 \text{ V}$	L	výstup se blíží stavu vypnutí

## LM9071

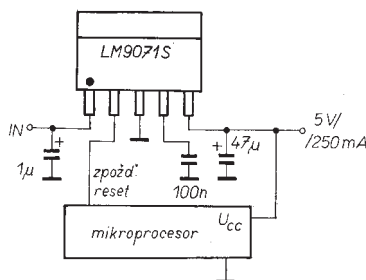
Obvod LM9071 je zjednodušenou verzí výše popsaného obvodu LM9070. Má shodné všechny elektrické parametry, ale neobsahuje vstupy ON/OFF a Keep-Alive pro elektronické odpojení. Z tohoto důvodu je vyráběn v pětivývodových pouzdrech TO-220 pro klasickou montáž a v pouzdru TO-263 pro povrchovou montáž technikou SMT, jejichž zapojení vývodů je na obr. 157a, b. Základní zapojení obvodu LM9071 je na obr. 158.



Obr. 157a. Zapojení vývodů obvodu LM9071 v pouzdru TO-220



Obr. 157b. Zapojení vývodů obvodu LM9071 v pouzdru TO-263



Obr. 158. Základní zapojení obvodu LM9071

## LM2930

Obvod LM2930, vyráběný firmami Texas Instruments a National Semiconductor je klasický třísvorkový lineární regulátor s malým úbytkem napětí. Dodává se v pouzdru TO-263, určeném pro povrchovou montáž, a v pouzdru TO-220 s vývody zapojenými shodně jako u standardních regulátorů řady  $\mu A78XX$ , takže pokud je požadován výstupní proud do 150 mA, je možná přímá záměna za tento modernější obvod.

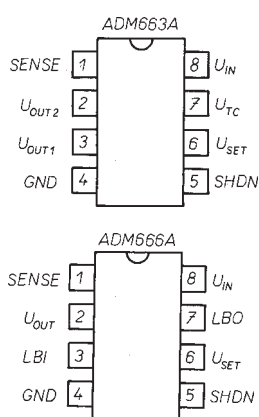
LM2930 má vnitřní ochranu proti napěťovým špičkám, chrání jak zátěž, tak i samotný obvod. Je též opatřen ochranou proti zničení při obráceném osazení do desky s plošnými spoji (mirror-image insertion protection).

## ADM663A / ADM666A

Obvody ADM663A/ADM666A amerického výrobce Analog Devices jsou precizní lineární napěťové regulátory s velmi malou proudovou spotřebou, která činí v klidovém stavu typicky 6  $\mu A$ . Díky takto malému klidovému proudu jsou tyto regulátory obzvláště vhodné pro použití v bateriově napájených zařízeních. Bez nutnosti použít další externí součástky pro

nastavení výstupního napětí mohou dodávat na výstupu pevná napětí +3,3 V nebo +5 V, případně dvěma rezistory může být uživatelem nastaveno výstupní napětí požadované velikosti v rozmezí od +1,3 V až do +16 V. Rovněž může být též nastavena velikost proudového omezení a to přidáním jednoho externího rezistoru.

Pro zvětšení bezpečnosti a spolehlivosti provozu je obvod vybaven funkcí monitorující teplotu čipu a zajišťující odpojení při zvýšení teploty nad bezpečnou mez. Rozsah pracovních teplot je od -40 do +85 °C. Obvody ADM663A/ADM666A jsou dodávány v osmivývodových pouzdrech DIP pro klasickou montáž (označení ADM663AN, ADM666AN) a v pouzdru SOIC pro povrchovou montáž technikou SMT (s označením ADM663AR, ADM666AR). Zapojení vývodů ADM663A a ADM666A je na obr. 159, stručný popis jejich funkce je v tabulce (dole na této stránce).



Obr. 159. Zapojení vývodů ADM663A a ADM666A

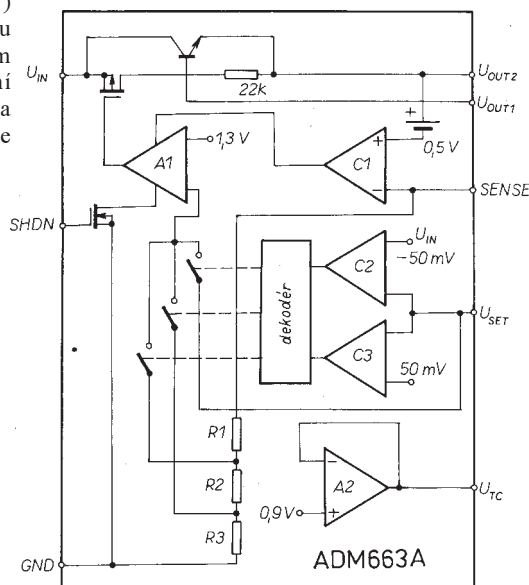
## Popis vnitřního blokového zapojení ADM663A / ADM666A

Obvody ADM663A/ADM666A obsahují mikropřikonový referenční zdroj napětí typu bandgap, chybový zesilovač A1, tři komparátory C1, C2, C3 a sériový regulační tranzistor. U obvodu ADM666A je použit jeden bipolární tranzistor vodivosti n-p-n, u obvodu ADM663A je navíc zapojen tranzistor FET s kanálem p.

Funkční blokové zapojení obvodu ADM663A je na obr. 160, zapojení ADM666A je na obr. 161.

Vnitřní referenční napětí je nastaveno na 1,3 V s tolerancí  $\pm 30$  mV a je připojeno

na jeden vstup chybového zesilovače A1. Na druhý vstup je přes vnitřní nebo vnější napěťový dělič přiveden zpětnovazební signál z výstupu regulátoru. Pokud je vstup  $U_{SET}$  spojen se zemí (vývod GND), je k tomuto vstupu přes dekodér připojena odbočka z vnitřního napěťového děliče mezi  $R_1$ ,  $R_2$  a výstupní napětí stabilizátoru je +5 V. Při spojení vstupu  $U_{SET}$  se vstupem  $U_{IN}$  stabilizátoru je připojena odbočka mezi  $R_2$ ,  $R_3$  napěťového děliče a výstupní napětí je +3,3 V. Když je napětí na vstupu  $U_{SET}$  v rozmezí napětí na vstupech komparátorů C2, C3, to jest větší než 50 mV proti vývodu GND a minimálně o 50 mV menší než napětí na vstupu  $U_{IN}$ , vstup chy-



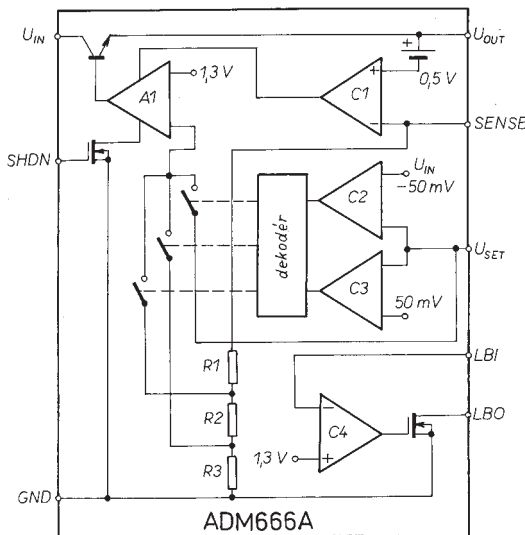
Obr. 160. Funkční blokové zapojení obvodu ADM663A

bového zesilovače je přímo spojen se vstupem  $U_{SET}$  a tedy i s externím napěťovým děličem k tomuto vstupu připojeným a určujícím velikost výstupního napětí regulátoru. Poměr odporů rezistorů v externím napěťovém děliči je zvolen tak, aby na vstupu  $U_{SET}$  bylo napětí 1,3 V.

Komparátor C1 monitoruje vstupem SENSE výstupní proud. Tento vstup sleduje vzhledem k výstupu  $U_{OUT(2)}$  úbytek napětí na rezistoru, kterým protéká proud do zátěže. Jestliže tento úbytek přesáhne 0,5 V, výstup komparátoru C1 se překlápí a zablokuje chybový zesilovač A1, čímž je omezen výstupní proud stabilizátoru.

Obvod ADM663A má přídatný zesilovač A2, jenž poskytuje na výstupu  $U_{TC}$

Vývod	Funkce
$U_{OUT(1)(2)}$	výstup(y) stabilizátoru
$U_{IN}$	vstup stabilizátoru
SENSE	vstup proudového omezení
GND	společná svorka, zem
LBI	vstup detektoru nedostatečného napětí baterie
LBO	výstup detektoru nedostatečného napětí baterie - otevřený kolektor
SHDN	digitální vstup pro elektronické odpojení stabilizátoru a jeho přechod do úsporného režimu s minimální proudovou spotřebou
$U_{SET}$	vstup pro nastavení velikosti výstupního napětí
$U_{TC}$	výstup napětí se záporným teplotním koeficientem



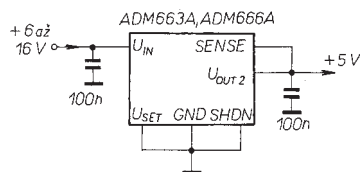
teplotně závislé napětí. Jestliže je toto napětí přičteno k napětí na invertujícím vstupu chybového zesilovače, má v důsledku toho napětí na výstupu stabilizátoru záporný teplotní koeficient. To je výhodné při napájení displejů s tekutými krystaly (LCD) v širokém rozsahu pracovních teplot.

Obvod ADM666A obsahuje navíc předavňý komparátor C4, který porovnává napětí na vstupu LBI - **Low Battery Input** (vstup indikace nedostatečného napětí baterie) s vnitřním referenčním napětím +1,3 V. Výstup komparátoru budi tranzistor FET s otevřeným kolektorem (open drain) a takto zapojený výstup je vyveden na svorku LBO - **Low Battery Output** (výstup indikace nedostatečného napětí baterie). Práh indikace nedostatečného napětí baterie je nastaven vhodným napěťovým děličem, připojeným ke vstupu LBI. Když se napětí na vstupu LBI zmenší pod velikost referenčního napětí +1,3 V, výstup komparátoru C4 se přeploží a tranzistor FET sepně.

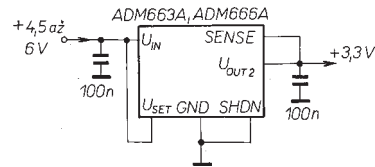
Obvody ADM663A/ADM666A jsou vybaveny vstupem Shutdown - SHDN pro možnost elektronicky odpojit chybový zesilovač a tím i výstup stabilizátoru. Spotřeba obvodu se v tomto režimu zmenší na méně než 9  $\mu$ A.

## Základní zapojení s obvodů ADM663A a ADM666A

Pro pevné výstupní napětí +5 V je vstup  $U_{\text{SET}}$  spojen se zemí (GND) a nejsou tedy potřeba žádné externí rezistory. Toto základní zapojení je na obr. 162. Pro pevné výstupní napětí +3,3 V je vstup  $U_{\text{SET}}$  spojen se vstupem  $U_{\text{IN}}$  stabilizátoru tak, jak je to ukázáno na obr. 163. Proudové omezení zde není v obou zapojeních žito a



Obr. 162. Základní zapojení ADM663A/  
/ADM666A pro výstupní napětí +5 V



*Obr. 164. Zapojení ADM663A/  
/ADM666A s nastavitelným výstupním  
napětím a s proudovým omezením*

$$R_{CL} = \frac{0,5}{I_{CL}}$$

kde  $I_{CL}$  je maximální proud.

Odpor, zvolený pro rezistor  $R_{CL}$ , by měl zajistit, že výstupní proud nepřekročí maximální povolenou hranici 100 mA s respektováním maximální povolené výkonové ztráty obvodů ADM663A/ADM666A.

Pokud je proudové omezení použito, vzniká na externím snímacím rezistoru přídavný úbytek napětí, který je nutno vzít v úvahu při stanovení celkového napěťového úbytku na stabilizátoru.

Není-li proudové omezení využito, měl by být vstup SENSE připojen na výstup  $U_{OUT(2)}$ . V tomto případě by měl být vstupní proud omezen, aby při zkratu na výstupu nebyla překročena maximální povolená výkonová ztráta obvodu.

## Vstup Shutdown (SHDN)

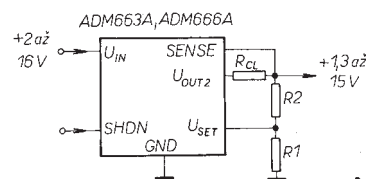
Vstup Shutdown umožňuje elektronicky vypnout regulátor signálem logické úrovně. To způsobí odpojení výstupu a zmenšení odebíraného proudu na klidovou velikost, která je typicky 6  $\mu\text{A}$  a maximálně 9  $\mu\text{A}$ , což je velmi užitečné pro aplikace s malým příkonem. Vstup SHDN může být ovládán logickým signálem úrovně CMOS vzhledem k tomu, že prahová úroveň tohoto vstupu je 0,3 V. V systémech s logikou TTL může být použit driver s otevřeným kolektorem a rezistor připojený ke vstupní svorce  $U_{\text{in}}$  stabilizátoru.

Jestliže funkce Shutdown není využí-  
vána, měl by být vstup SHDN spojen se  
společnou svorkou - zemí (GND).

### Indikace nedostatečného napětí baterie

Tato funkce může být využita buď pro indikaci nedostatečného napětí baterie, aby byla obsluha zařízení upozorněna na nutnost vyměnit nebo dobít napájecí články, nebo pro indikaci zmenšeného napětí ze síťového zdroje, kdy regulátor již není schopen plnit svou stabilizační funkci a výstupní napětí se zmenší pod úroveň zaručovanou toleranci technických parametrů obvodu.

Obvod ADM666A obsahuje přímo na čipu zapojení pro realizaci výše popsané funkce. Jestliže se napětí na vstupu LBI - **Low Battery Input** (vstup indikace nedo-



*Obr. 165. Zapojení ADM666A s indikací nedostatečného napětí baterie a nastaviteľným výstupným napätím*



statečného napětí baterie) zmenší pod velikost vnitřního referenčního napětí +1,3 V, sepne tranzistor, jehož výstup je připojen k výstupu LBO - Low Battery Output (výstup indikace nedostatečného napětí baterie). Napěťový práh pro aktivaci vstupu LBI může být nastaven na libovolně na napětí větší než +1,3 V pomocí vhodné zvolených odporů rezistorů  $R_3$ ,  $R_4$  v děliči na obr. 165 podle následující rovnice:

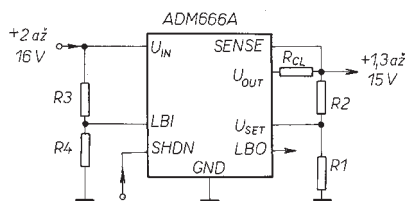
$$R3 = R4 \left( \frac{U_{BAT}}{1,3 \text{ V}} - 1 \right),$$

kde  $U_{BAT}$  je požadovaný práh pro aktivaci indikace nedostatečného napětí.

Poněvadž je vstupní klidový proud vstupu LBI menší než 10 nA, mohou mít rezistory  $R_3$ ,  $R_4$  poměrně velké odpory, což je výhodné vzhledem k minimalizaci zatížení výstupu obvodu. Například pro prahové napětí +6 V může být použit na pozici  $R_3$  rezistor s odporem 10 MΩ a rezistor 2,7 MΩ na pozici  $R_4$ .

#### Indikace malého výstupního napětí stabilizátoru

Zapojení na obr. 166 indikuje malé výstupní napětí stabilizátoru a je vhodné k indikaci stavu, kdy se z nějaké příčiny (malé vstupní napětí, velké proudové zatížení) zmenší výstupní stabilizované napětí pod velikost, která již nemůže zaručit správnou funkci ze stabilizátoru napájenéhoho zařízení.



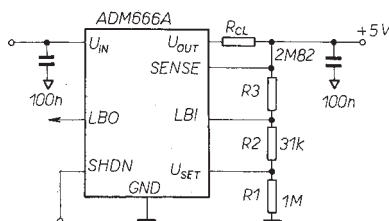
Obr. 166. Zapojení ADM666A s indikací malého výstupního napětí

V zapojení na obr. 166 přejde výstup LBO do nízké úrovně - log. 0 - při zmenšení výstupního napětí pod nastavenou velikost, danou odpory rezistorů  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  podle následujících rovnic:

$$R2 + R3 = R1 \left( \frac{U_{OUT}}{1,3} - 1 \right)$$

$$R3 = (R1 + R2) \left( \frac{U_{OL}}{1,3} - 1 \right).$$

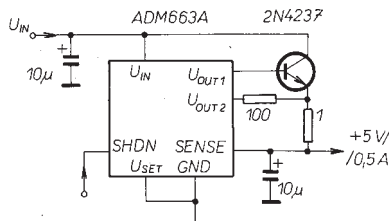
Například pro výstupní napětí  $U_{OUT} = 5 \text{ V}$ ,  $U_{OL} = 4,85 \text{ V}$  (3 % z  $U_{OUT}$ ) a  $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$  dostaneme výpočtem z předchozích rovnic pro  $R_2$  odpor 31 kΩ a pro  $R_3$  2,82 MΩ (obr. 167).



Obr. 167. K příkladu výpočtu odporů rezistorů pro zapojení z obr. 166

#### Zvětšení výstupního proudu

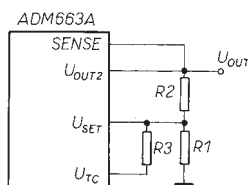
Obvod ADM663A je vybaven přidavným výstupem  $U_{OUT1}$ , vhodným pro přímé buzení báze externího výkonového bipolárního tranzistoru vodivosti n-p-n. Obr. 168 ukazuje zapojení, které představuje zdroj s výstupním napětím +5 V a posíleným proudovým výstupem. Odporem snímacího rezistoru 1 Ω je nastaven maximální výstupní proud na 0,5 A.



Obr. 168. Zapojení pro větší výstupní proud (0,5 A)

#### Teplotně proporcionální výstup

Obvod ADM663A obsahuje napěťový výstup  $U_{TC}$  s kladným teplotním koeficientem typicky +2,5 mV/°C. Tento výstup může být připojen do součtového bodu  $U_{SET}$  chybového zesilovače přes rezistor ( $R_3$  na obr. 169), jehož odporem je určen záporný teplotní koeficient výstupního napětí stabilizátoru. To je speciálně výhodné při napájení displejů z tekutých krystalů - LCD - v zařízeních pracujících v širokém rozsahu pracovních teplot.



Obr. 169. Využití teplotně proporcionálního výstupu u ADM663A

Při teplotě +25 °C je napětí na výstupu  $U_{TC}$  typicky +0,9 V. Pomocí následujících rovnic je možno vypočítat odpory rezistorů  $R_1$ ,  $R_2$  pro nastavení velikosti výstupního napětí a rezistoru  $R_3$  pro nastavení teplotního koeficientu výstupního napětí:

$$U_{OUT} = U_{SET} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) + \frac{R2}{R3} (U_{SET} - U_{TC})$$

$$TCU_{OUT} = \frac{-R2}{R3} (TCU_{TC})$$

kde  $U_{SET} = 1,3 \text{ V}$ ,  $U_{TC} = +0,9 \text{ V}$ ,  $TCU_{TC} = +2,5 \text{ mV/°C}$ .

Pokud tato funkce není využívána, výstup  $U_{TC}$  by měl zůstat nezapojen.

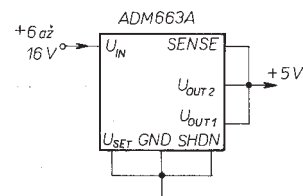
#### Poznámky k aplikaci obvodů

##### ADM663A / ADM666A

#### Minimální rozdíl napětí mezi vstupem a výstupem (Drop-Out)

U regulátoru určuje minimální rozdíl napětí mezi vstupem a výstupem (Drop-Out) nejmenší velikost vstupního napětí, potřebnou pro stabilizaci konkrétního výstupního napětí. U obvodů ADM663A / ADM666A je typická velikost tohoto rozdílu 1 V při výstupním proudu 100

mA. Je-li například obvod použit jako stabilizátor pevného napětí +5 V, je minimální potřebné vstupní napětí pro stabilizátor +6 V. Při menších výstupních proudech ( $I_{OUT} < 10 \text{ mA}$ ), může být u obvodu ADM663A výstup  $U_{OUT1}$  použit jako hlavní výstup, neboť se tím dosáhne menšího úbytku napětí. V tomto případě závisí minimální rozdíl napětí mezi vstupem a výstupem na velikosti napěťového úbytku na vnitřním tranzistoru FET. Tento napěťový úbytek může být vypočítán vynásobením saturačního odporu tranzistoru FET a výstupního proudu stabilizátoru. Např. při vstupním napětí  $U_{IN} = 9 \text{ V}$  je  $R_{SAT} = 20 \Omega$ , tudíž úbytek napětí při proudu 5 mA je 100 mV. Jelikož je obvod proudového omezení vztažen k výstupu  $U_{OUT(2)}$ , musí být v tomto případě tento výstup propojen s výstupem  $U_{OUT(1)}$  (obr. 170). Při větších výstupních proudech by měl být použit pouze výstup  $U_{OUT(2)}$  a výstup  $U_{OUT(1)}$  by měl být ponechán nezapojen.



Obr. 170. Zapojení pro malý výstupní proud a menší napěťový úbytek

#### Blokovací kondenzátory

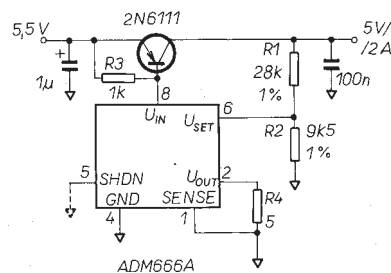
Vysokofrekvenční vlastnosti obvodů ADM663A / ADM666A mohou být dále zlepšeny blokováním výstupu filtračním kondenzátorem. Vhodná kapacita kondenzátoru je 100 nF.

Kondenzátor na vstupu pomáhá potlačit šum, zlepšuje dynamické vlastnosti a omezuje napěťové špičky ze zdroje připojeného ke vstupu stabilizátoru. Doporučen je kondenzátor s kapacitou 100 nF nebo větší.

#### Aplikační zapojení obvodů ADM663A / ADM666A

##### Regulátor s výstupním proudem 2 A

V bateriově napájených zařízeních závisí doba života napájecích článků významně na použitém typu stabilizátoru. Tato zařízení často vyžadují použití lineární regulátor s malým úbytkem napětí, který je schopen dodat velký výstupní proud

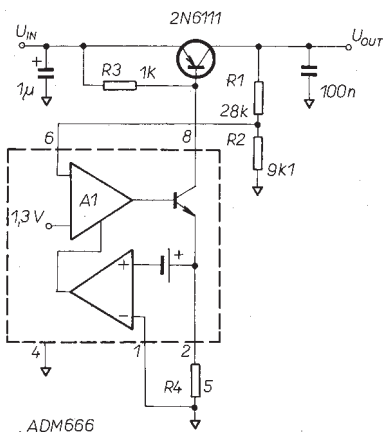


Obr. 171. Regulátor s výstupním proudem 2 A

při současném požadavku na extrémně malý proud v klidovém stavu.

Obvod zapojený podle obr. 171 může dodat proud až 2 A při úbytku napětí (Drop-Out) na regulačním článku menším než 400 mV a má klidovou proudovou spotřebu maximálně 10  $\mu$ A v režimu odpojení (Shutdown). Obvod vyniká také výbornou stabilitou výstupního napětí při velkých změnách zátěže a i při změnách vstupního napětí. Oproti jiným regulátorům, které vyžadují blokovací kondenzátory s kapacitou přesahující 10  $\mu$ F, stačí u tohoto typu použít malý kondenzátor s kapacitou 100 nF.

Maximální výstupní proud zapojení je určen velikostí proudového zesilovacího činitele  $\beta$  regulačního výkonového tranzistoru a jeho maximální povolenou výkonovou ztrátou. Vzhledem k požadovanému malému úbytku napětí je vhodnou volbou bipolární tranzistor vodivosti p-n-p s dostatečným proudovým zesilovacím činitelem a odpovídající výkonovou ztrátou. Zjednodušené funkční zapojení na obr. 172 pomůže objasnit činnost obvodu.



Obr. 172. Zjednodušené funkční zapojení

Externí tranzistor 2N6111 je součástí servosmyčky, tvořené obvodem referenčního napětí, výstupním budicím tranzistorem  $T_2$  a chybovým zesilovačem A1, obsaženým uvnitř integrovaného obvodu ADM666A.

K zachování regulace je velikost výstupního napětí nepřetržitě monitorována a porovnávána přes vstup  $U_{SET}$  (vývod 6) s vnitřním referenčním napětím 1,3 V. Případná odchylka je zesílena chybovým zesilovačem A1 a použita k řízení velikosti bazového proudu regulačního tranzistoru a tím následně i jeho kolektorového proudu. Při změnách vstupního napětí nebo zatěžovacího proudu je proud báze vždy řízen tak, aby byla zachována konstantní velikost výstupního napětí.

Zatímco proud do báze je omezen vnitřním obvodem proudového omezení, obsaženým v ADM666A, a odporem rezistoru  $R_4$  na max. 100 mA, regulační tranzistor s větším proudovým zesilovacím činitelem může do zátěže dodat poměrně velký proud. To znamená, že maximální zkratový proud do zátěže závisí na

proudovém zesilovacím činitele  $\beta$  externího regulačního tranzistoru.

Další významnou předností použití tranzistoru s velkým proudovým zesilovacím činitelem je větší účinnost, protože největší část vstupního proudu je vedena přímo do zátěže a pouze malý zlomek je spotřebováván obvody řídicí servosmyčky.

Pro aplikace, v nichž je požadován velký výstupní proud a nezáleží na co nejmenším napěťovém úbytku, je možno použít výkonový tranzistor v Darlingtonově zapojení, který má výhodu v relativně velkém proudovém zesilovacím činitele. Naproti tomu nevýhodou je menší účinnost a větší výkonová a tepelná ztráta, způsobená velkým saturačním napětím Darlingtonova zapojení.

Výstupní napětí je nastavitelné v rozsahu od 1,3 V do 15,4 V vhodnou volbou odporu rezistorů  $R_1$  a  $R_2$  podle následující rovnice:

$$U_{OUT} = 1,3 \text{ V} \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right).$$

Pro mnohem přesnější řízení proudového omezení je určeno zapojení na obr. 173, v němž je implementován jednoduchý obvod ochrany proti zkratu.

Obr. 173. Zapojení s přidavnou ochranou proti zkratu

Velikost zkratového proudu  $I_{SC}$  je určena odporem rezistoru  $R_{SC}$ , vypočítaným z následující rovnice:

$$R_{SC} = \frac{0,1}{I_{SC}}.$$

Regulační tranzistor musí být v tomto případě opatřen odpovídajícím chladičem, aby se předešlo zvláště při větších výstupních proudech jeho tepelnému přetížení.

### Regulátor s automatickým připojením záložní baterie

Na obr. 174 je schéma regulátoru, u něhož se automaticky po odpojení primárního zdroje napětí nebo při zmenšení jeho výstupního napětí pod určitou nastavitelnou minimální velikost připojuje záložní baterie.

Obr. 174. Regulátor s automatickým připojením záložní baterie

Úroveň napětí  $U_{BAT}$  při níž se samostatně připojuje záložní baterie, je dána odporem rezistorů  $R_1$ ,  $R_2$  v děliči, připojeném ke vstupu LBI. Jejich odpor je možno vypočítat z následující rovnice:

$$R_1 = R_2 \left( \frac{U_{BAT}}{1,3 \text{ V}} - 1 \right).$$

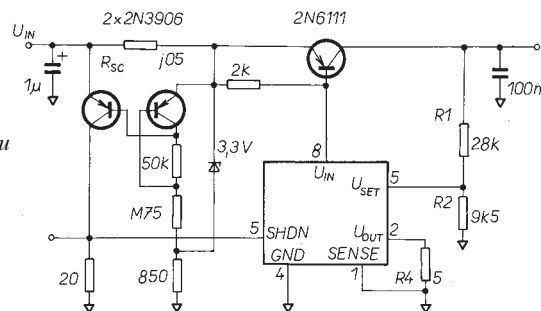
Elektronický spínač, tvořený tranzistorem FET s kanálem n a malým odporem  $R_{ON}$  v sepnutém stavu je použit pro zachování malých ztrát na spínači při připojení záložní baterie.

Přídavný rezistor  $R_3$  slouží ke kompenzaci ztrát samovybíjením a „kapkově“ dobíjí záložní baterii. Jeho odpor je závislý na bližší specifikaci parametru použité záložní baterie - na stanovené velikosti nabíjecího proudu pro kapkové dobíjení a na odolnosti proti trvalému přebíjení.

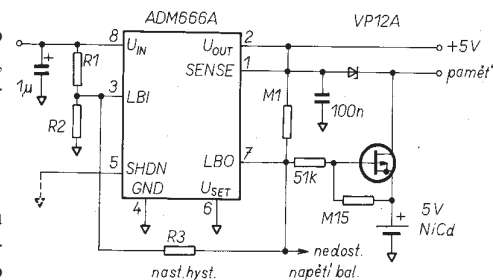
Odpory ostatních rezistorů použitých v tomto zapojení jsou optimalizovány vzhledem k pracovnímu režimu celého obvodu (s co nejmenším příkonem) tak, aby nepředstavovaly zbytečnou přídavnou zátěž. Vstup pro elektronické odpojení SHDN (Shutdown), pokud není využit, je trvale spojen se zemí.

### Zdroj +5 V s bateriovým zálohováním a hlášením odpojení hlavního napájecího napětí (Low Battery Flag)

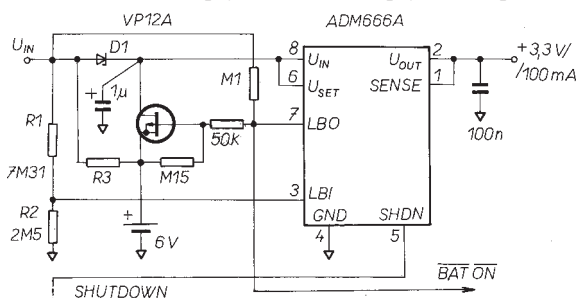
Obvod na obr. 175 zajišťuje připojení zálohovacího niklokadmiového (NiCd)



článku, pokud se hlavní napájecí napětí  $U_{IN}$  na vstupu stabilizátoru zmenší pod úroveň, nastavenou odporem rezistorů  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_3$ , připojených ke vstupu LBI, a zajišťuje též zpětné odpojení zálohovacího



Obr. 175. Zdroj +5 V s hlášením odpojení hlavního napájecího napětí



článku NiCd a připojení hlavního napájecího napětí při opětovném zvětšení napětí vstupního.

(Dokončení bude v č. 2 Konstrukční elektroniky v roce 1998.)

# NABÍJEČKA AKU s automatikou

Ing. Zdeněk Zátopek

Neustálý rozvoj motorismu a růst prodeje automobilů, strojů a zařízení, které využívají olovený akumulátor, způsobuje nevídaný zájem široké veřejnosti o jeho údržbu. Akumulátor není levný a jeho doba života je přímo závislá na správné údržbě. I když jsou dnes na trhu již akumulátory tzv. bezúdržbové, nic to nemění na uvedeném tvrzení - pokud není „elektrika“ auta v naprostém pořádku a venku jsou extrémně vysoké teploty, voda se z akumulátoru odpařuje, hladina elektrolytu se mění a elektrody akumulátoru se postupně obnažují. Důsledek je zřejmý - kapacita akumulátoru se zmenšuje a přitom se akumulátor znehodnocuje. Mnoho uživatelů si tuto skutečnost uvědomuje a snaží se proto věnovat startovacímu olovenému akumulátoru přiměřenou péči.

Již před více než rokem jsem publikoval na stránkách odborného časopisu nabíječku, která byla, pokud jde o propojení a mechanickou stavbu poněkud složitější. Moji snahou proto bylo udělat z uvedené nabíječky univerzální zařízení, které by umožňovalo určitou variabilitu při sestavování různých modulů. Konstrukce byly ovšem silně omezeny návrhovým systémem Ferda 3.50 Shareware. I přesto je i s odstupem času o uvedené konstrukci neutichající zájem. Proto jsem zjednodušil celkovou montáž a odstranil nastavovací prvky, takže inovovaná nabíječka pracuje jako

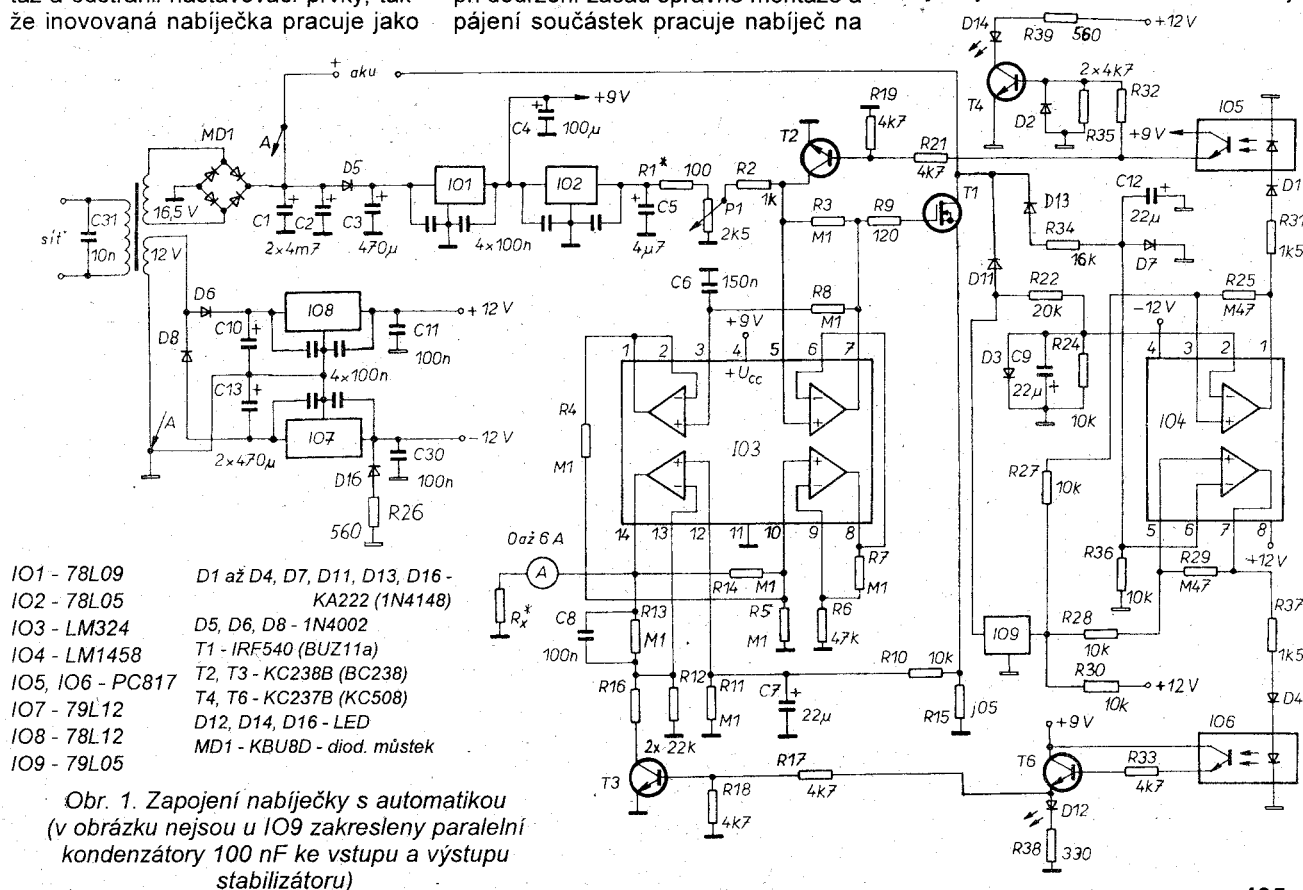
automatický nabíječ akumulátorů s koncovým vypínáním při dosažení znaků úplného nabití a zabezpečuje tzv. dvoustupňové nabíjení. Jako kontrolky jednotlivých procesů jsou k nabíječce připojeny svítivé diody. Nabíječ je vybaven ochranou proti obrácení polarit připojovaného akumulátoru, proti zkratu výstupních svorek nabíječky a zkratu desek v akumulátoru. Kabeláž byla omezena na minimum a celý nabíječ je osazen jen na jedné jednostranné desce s plošnými spoji. Obvody jsou navrženy tak, že při dodržení zásad správné montáže a pájení součástek pracuje nabíječ na

první zapojení. Nabíjecí proud má charakter impulsů a jeho střední velikost lze plynule regulovat v rozsahu 0 až 6 A potenciometrem. Jediným nastavovacím prvkem je právě tento potenciometr P1.

A nyní již ke schématu nabíječky na obr. 1. Napětí ze sekundárního síťového vinutí transformátoru (střídavé napětí 16,5 V, proudové zatížení 6 A) se usměrňuje diodovým můstkem MD1. Pomocné sekundární vinutí pro 12 V/0,3 A slouží k napájení obvodů elektroniky. Pro transformátor lze použít jak plechy EI, tak např. jádro C nebo toroidní. Z hlediska nejmenšího vyzařování rušivých složek a rozměrů je nejvhodnější toroidní transformátor, i když je jeho cena nejvyšší. Na primární straně transformátoru je připojen odrušovací kondenzátor C31. Zároveň je v primárním obvodu zapojena trubičková pojistka a kolébkový spínač, v němž je integrována signační LED zelené nebo žluté barvy (nejsou ve schématu zapojení zakresleny).

Hlavní usměrňené stejnosměrné (tepavé) napětí je filtrováno elektrolytickými kondenzátory C1 a C2 s kapacitou 4700  $\mu$ F. Aby nebyly kondenzátory tepelně namáhány příliš velkým proudem, jsou v zapojení použity dva. Z kladného pólu těchto kondenzátorů je vyvedena výstupní kladná svorka nabíječky.

Napájení obvodů řídicí elektroniky výkonového stupně je odvozeno z hlavního stejnosměrného napětí. Pro oddělení obou napětí je v obvodu zapojena oddělovací dioda D5. Elektrolytický kondenzátor C3 dále filtruje





vstupní napětí pro stabilizátor IO1, který napájí i část obvodů ochrany. Referenční napětí pro vyhodnocování napěťových úrovní v komparátoru IO3/3 je zabezpečeno plastovým stabilizátorem IO2. Vstupní napětí do tohoto referenčního stabilizátoru je odvozeno z výstupního napětí IO1. Rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím stabilizátoru by měl být minimálně 2 V, aby stabilizátor spolehlivě pracoval.

Pro potlačení rušivých napětí jsou v obvodech napájení nabíječe - silové části - použity elektrolytické kondenzátory C4 a C5. Ze strany plošných spojů jsou přímo na vývody plastových stabilizátorů IO1 a IO2 připájeny odrušovací keramické kondenzátory 100 nF. Na výstupu IO2 je referenční napětí 5,0 V, které je vedeno přes omezovací rezistor R1 na regulační potenciometr P1. Rezistorem R1 lze nastavit maximální nabíjecí proud při vytvoření běžce potenciometru P1 do pravé krajní polohy. Odpor odporové dráhy potenciometru lze v určitých mezích měnit - nejvhodnější je 2,5 k $\Omega$  s lineárním průběhem.

Z běžce potenciometru P1 postupuje stejnosměrné referenční napětí přes rezistor R2 na vývod 5 IO3. Podle velikosti regulační odchylky dané rozdílem mezi žádanou a skutečnou střední hodnotou nabíjecího proudu je řízen poměr doby, po níž nabíjecí proud prochází nabíjeným akumulátorem, k době jeho přerušení.

Řídicí obvod pro spínání výkonového tranzistoru je tvořen běžným IO - čtyřmi operačními zesilovači v jednom pouzdru. Nejvhodnějším typem IO je LM324, který má při nulovém vstupním napětí výstupní napětí nulové. S úspěchem lze použít i jiné obdobné čtyřnásobné operační zesilovače, ale vzhledem k jejich minimálnímu výstupnímu stejnosměrnému napětí asi 2 V by bylo nutno na výstup komparátoru zařadit vhodnou Zenerovu diodu např. KZ140, která uvedený jev odstraní tak, že lze nabíjecí proud regulovat od nuly. Bez této diody by nabíječ neustále dodával do zátěže určitý i když malý nabíjecí proud, což by v některých aplikacích mohlo být na závadu.

Operační zesilovač IO3/1 je zapojen jako sledovač napětí, který „sleduje“ napětí na kondenzátoru C6, jehož kapacita určuje kmitočet střídavy. Za sledovačem následuje sčítací neinvertující zesilovač IO3/2. Napěťové zesílení tohoto sčítacího zesilovače je nastaveno rezistory R7 a R6. Na výstup tohoto napěťového sčítacího zesilovače je připojen komparátor z IO3/3, na jehož výstup je připojena přes ochranný rezistor R9 řídicí elektroda výkonového tranzistoru T1, řízeného polem (MOSFET). K emitoru (elektrode S) tranzistoru T1 je připojen výkonový rezistor R15, který je vzhledem k maximálnímu procházejícímu proudem složen ze 2 ks. Průchodem nabíje-

cí proudu přes tento rezistor vzniká na něm úbytek napětí, který je přes filtrační obvod, složený z rezistoru R10 a elektrolytického kondenzátoru C7, veden do zesilovače odchylky IO3/4. Vstupní odpor tohoto zesilovače odchylky určuje rezistor R11. Napěťové zesílení je nastaveno rezistory R13 a R12 - volba zesílení významně ovlivňuje celkový nabíjecí proud nabíječe. Pro potlačení možnosti rozkmitání obvodu je ve zpětné vazbě navíc zapojen kondenzátor C8. Zesílené napětí je přiváděno přes oddělovací rezistor R14 do sčítacího neinvertujícího zesilovače. Napěťové zesílení tohoto sčítacího zesilovače je nastaveno rezistory R7 a R6. Ke kolektoru výkonového tranzistoru je zapojen minus svorka akumulátoru.

Kondenzátor C6 se podle napěťové úrovně komparátoru IO3/3 nabíjí anebo vybíjí přes rezistor R8. Když se tento kondenzátor nabíjí, je na výstupu IO3/3 napětí  $U_n - 1,4$  V (závisí na velikosti  $I_{nab}$ ). Tímto napětím je otevřen výkonový tranzistor T1 a akumulátor se nabíjí. Činnost komparátoru spočívá v porovnávání napětí na C6, C7 a na poloze běžce potenciometru. Za určitého stavu napětí a při určité poloze běžce přepoklopí komparátor IO3/3 do stavu, kdy má na výstupu nulové napětí. Nabíjecí proud se skokově přeruší a kondenzátor C6 se začne vybíjet přes rezistor R8. Zmenší-li se napětí na tomto kondenzátoru natolik, že jeho součet se signálem záporné zpětné vazby nebude odpovídat žádanému nabíjecímu proudu, komparátor se přepoklopí do výchozího stavu popísaného cyklu.

Na výstupu komparátoru IO3/3 je pravouhlý signál, jehož střída se mění v závislosti na požadovaném nabíjecím proudu tak, že když prochází do nabíjeného akumulátoru větší nabíjecí proud, je perioda otevření tranzistoru T1 delší. Takto se neustále „připojuje a odpojuje“ nabíjený akumulátor ke zdroji nabíjecího proudu.

Kladná svorka nabíječe se připojuje ke kladné svorce akumulátoru, z druhé svorky nabíjeného akumulátoru se odebírají řídicí napětí pro ochranné obvody nabíječe. Aby se vzájemně neovlivňovaly jednotlivé stupně ochrany, jsou ke kolektoru T1 (elektrode D) připojeny oddělovací křemikové diody D11 a D13. Aby bylo možno využít celého možného rozkmitu výstupního napětí operačního zesilovače v ochraně, který plní funkci komparátorů, je nutné komparátory napájet symetrickým napětím. Proto byla zvolena tzv. virtuální, „plovoucí“ zem, která má potenciál kladné svorky nabíječe; ve schématu je virtuální zem nakreslena tenkými čarami (zem „silová“ běžným způsobem) a k této „zemi“ vztažena napájecí napětí jak +12 V, tak -12 V pro komparátory.

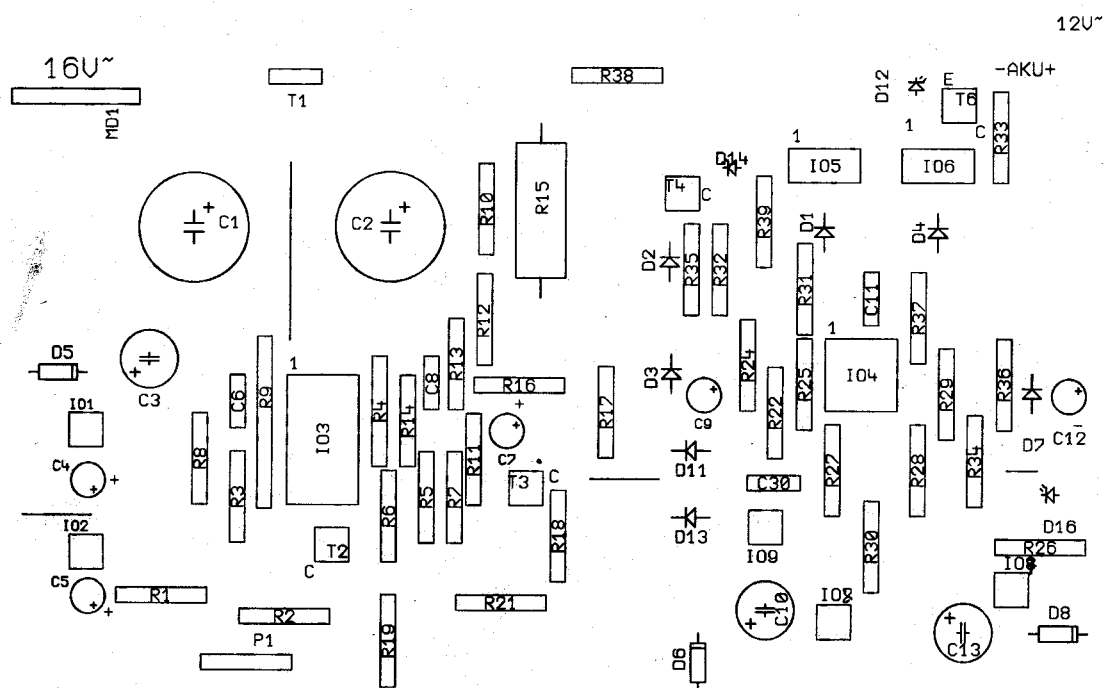
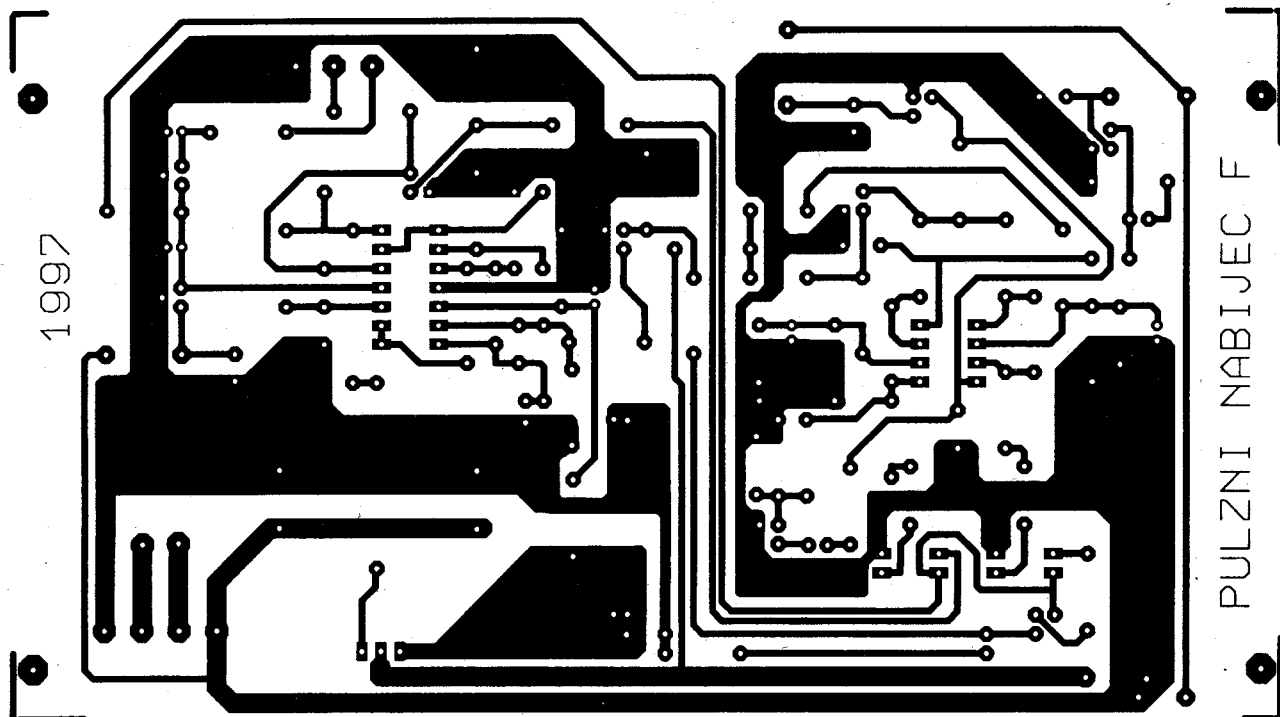
Nejdříve si popíšeme obvod, zajišťující vypnutí nabíječe při dosažení úplných znaků nabití akumulátoru.

Referenční napětí ochrany je odvozeno od napětí nabíjeného akumulátoru a je stabilizováno plastovým stabilizátorem IO9. Stabilizované napětí je přiváděno z výstupu stabilizátoru IO9 přes rezistor R27 na invertující vstup IO4/1. Hystereze komparátoru je nastavena volbou odporu rezistoru R25. Při zvětšování napětí na akumulátoru se zvětšuje i napětí na rezistorovém děliči R22 a R24. Toto napětí je filtrováno elektrolytickým kondenzátorem C3, který zároveň svou kapacitou zabezpečuje při zapnutí nabíječe postupný náběh napětí na neinvertujících vstupech komparátorů a tím i potřebné zpožděné zapnutí ochrany.

Proti obrácené polaritě přiváděného napětí je elektrolytický kondenzátor C9 chráněn diodou D3. Když napětí z akumulátoru, zmenšené napěťovým děličem, překročí velikost stabilizovaného referenčního napětí z IO9, tj. -5 V, skokově se změní napětí na výstupu IO4/1. Kladné výstupní napětí, které dosahuje velikosti  $U_n - 2$  V, rozsvítí přes pracovní rezistor R31 a oddělovací diodu D1 svítivou diodu v IO5. Tato dioda svým svitem osvíti bázevý přechod optotranzistoru, který připojí přes rezistor R21 bázi tranzistoru T2 ke kladnému napětí, T2 se skokem otevře a zkratuje vývod 5 IO3 na zem, čímž se okamžitě přeruší nabíjení akumulátoru. Pro spolehlivé spínání je v bázi tranzistoru T2 zapojen rezistor R19. Pro signalizaci tohoto stavu, tj. vypnutí nabíječe, se využívá obvod tranzistoru T4, který je spínán kladným výstupním napětím komparátoru přes rezistor R32. Rezistorem R39 se podle typu svítivé diody D14 nastavuje její pracovní proud. Ochranná dioda D2 chrání bázi tranzistoru před rušivými napětími opačné polarity a rezistor R35 slouží k dokonalému otevření tranzistoru až do oblasti saturace. Zmenší-li se napětí na vstupu + IO4/1 pod úroveň, která je nastavena rezistory R25, R27, komparátor se přepoklopí do výchozí polohy a tranzistory T2, T4 se uzavřou. Napětí, při němž je ukončeno nabíjení, je nastaveno na asi 15 V.

Obvod dvoustupňového nabíjení pracuje obdobně. Překlápěcí úroveň je nastavena rezistory R34 a R36 na asi 13 V. Když bude na výstupu komparátoru IO4/2 kladné napětí, připojí se báze tranzistoru přes R33 ke kladnému napětí, tranzistor se otevře a rozsvítí se signalizační svítivá dioda D12 žluté barvy. Pracovní rezistor R38 určuje proud touto diodou.

Kladné napětí je dále vedeno přes rezistor R17 na bázi tranzistoru T3. Rezistorem R18 je zabezpečeno spolehlivé spínání tohoto tranzistoru. Sepnutím tranzistoru T3 se spojí rezistor R16 se „silovou“ zemí. Tím se změní stav obvodu, jelikož rezistory R16 a R12 jsou zapojeny paralelně - při stejném natočení hřídele potenciometru P1 se nabíjecí proud zmenší přibližně na polovinu, protože se zvětšilo napě-



Obr. 2, 3. Deska s plošnými spoji nabíječky a její osazení součástkami

řové zesílení operačního zesilovače regulační odchylky IO3/4. Tato regulační odchylka zabezpečuje v obvodu kolísání nabíjecího proudu v toleranci 1 %. Měřidlo, ocejchované v ampérech, lze zapojit dvěma způsoby - lze ho připojit k rezistoru R15 nebo na výstup IO3/4. Obě varianty řešení jsou ekvivalentní. Je však nutno stupnici přecejchovat pro měření střední hodnoty nabíjecího proudu.

Napájení obvodů ochrany je zabezpečeno z pomocného vinutí 12 V síťového transformátoru. Pro zjednodušení je napájení řešeno jako jednocestné. Střídavé napětí je usměrněno jednocestně diodami D6 a D8 a filtrováno

elektrolytickými kondenzátory C10 a C13. Stabilizaci zajišťují plastové stabilizátory IO7 a IO8. Ze strany plošných spojů jsou přímo na vývody připájeny keramické kondenzátory 100 nF. K potlačení rušivých signálů v napájení IO4 jsou do obvodu vřazeny keramické kondenzátory C11 a C30.

Deska s plošnými spoji je na obr. 2 a její osazení součástkami na obr. 3.

#### Seznam součástek

##### Polovodičové součástky

MD1	KBU8D, diodový můstek (KBU6D,M)
D5, D6, D8	1N4002, usměrňovací dioda (KY130/80..)

D1, D2, D3, D4, D7, D11, D13	KA222, křemíková dioda (KA206, 1N4148)
IO1	LM78L09, stabilizátor napětí (LM78L10)
IO2	LM78L05, stabilizátor napětí (LM78L06)
IO3	LM324N, 4násobný OZ (BM324)
IO4	LM1458, dvojitý OZ (TL082, LM358, MA1458)
IO5, IO6	PC817, optočlen (PC816)
IO7	LM79L12, stabilizátor
IO8	LM78L12, stabilizátor
IO9	LM79L05, stabilizátor

T1	IRF540, výkonový MOS FET, kanál n (BUZ11A)
T2, T3	KC238B, křemíkový tranzistor n-p-n (KC237B, BC238...)
T4, T6	KC237B, křemíkový tranzistor n-p-n (KC237V, KC507...)
D12	LED, 8 mm, žlutá, popř. jiný typ žluté barvy
D14	LED 8 mm, rudá, popř. jiný typ rudé barvy
D16	LED 8 mm, zelená

Rezistory (typ RR 0,6 W/1 %, popř. TR212, TR 197, dodržet toleranci 1%)

R1*	100 $\Omega$ (vymezuje max. rozsah nabíjecího proudu)
R2	1 k $\Omega$
R3, R4, R5, R7, R8, R11, R13,	
R14	100 k $\Omega$
R6	47 k $\Omega$
R9	120 $\Omega$ (100 až 150 $\Omega$ )
R10, R24, R27, R28, R30,	
R36	10 k $\Omega$
R17, R18, R19, R21, R32, R33,	
R35	4,7 k $\Omega$
R25, R29	470 k $\Omega$ (330 až 560 k $\Omega$ )
R31, R37	1,5 k $\Omega$
R12, R16	22 k $\Omega$
R26	560 $\Omega$ (podle LED)
R38, R39	330 až 560 $\Omega$ (nastavení pracovního proudu LED)
R15	0,05 $\Omega$ (složen z 2 ks 0,1 $\Omega$ /5 W)
R*	nastavení rozsahu měřidla
R22	20 k $\Omega$
R34	16 k $\Omega$

#### Kondenzátory

C31	10 nF/ 630 V, TC 208
C1, C2	4700 $\mu$ F/35 V
C3	470 $\mu$ F/35 V
C4	100 $\mu$ F/16 V
C5	4,7 $\mu$ F/16 V (4,7 až 22 $\mu$ F)
C6	150 nF, TC 351 (100 až 220 nF)
C10, C13	470 $\mu$ F/25 V
C8, C11, C30	100n - keramický kondenzátor (+ 10 neoznačených)
C7, C9, C12	47 $\mu$ F/16 V (22 až 47 $\mu$ F)

#### Ostatní součástky

siťový transformátor	230 V/16 až 17V/16 A, 12 V/0,3 A, bezpečnostní
P1	2,5 k $\Omega$ /N, TP 160A, potenciometr (2,5 až 5 k $\Omega$ /N, TP 160A, TP 160)

A	VMP 40/6 A, ocejchovat ve střední hodnotě proudu (citlivost 600 mV až 6 V)
CHI	chladič Al ZH610, délka 65 mm

deska s plošnými spoji, slídová podložka, silikonová vazelína, spojovací materiál, kovová skříňka UPS2, přístrojová nožička GF6, distanční sloupky KDR5, knoflík PVC 4 mm, flexošňůra 2x 0,5 mm<sup>2</sup>, drátová spojka R20, kolébkový spínač P-B100-LED/ZE, přístrojová svorka rudá, černá (žlutá), pojistkové pouzdro K2261, kabelová průchodka F0710SB-10, pojistka 630 mA/F, 5x20 mm

### Praktické zkušenosti

Osazení součástkami nečiní potíže. Před osazením je nutno změřit nejlépe všechny pasivní součástky (na svodový odpor a přerušení). Také je nutno proti světlu zkontrolovat plošné spoje na případná přerušení, elektrické můstky nebo trhliny. Odběr řídicího obvodu se pohybuje okolo 35 mA a ochrany okolo 30 mA. Odběr proudu závisí na použitých svítivých diodách.

Nabíječ jsem vestavěl do kovové skříňky o rozměrech 170x160x86 mm (dxšxv). V této skřínce je použit toroidní transformátor o výkonu 108 VA. Pro menší nabíjecí proudy (do 4 A) lze s výhodou jako T1 použít i bipolární výkonový tranzistor TIP142. Odpor rezistoru R9 se pak zvětší na 1 k $\Omega$ . Také je možné použít 2 ks MOSFET BUZ10 (BUZ11), které se zapojí paralelně. Zapojit TIP142 paralelně jako výkonovou dvojici příliš nedoporučuji. Také lze měnit „kmitočet“ komparátoru změnou kapacity kondenzátoru C6. Menší kapacita znamená vyšší kmitočet a naopak. Pro olovené startovací akumulátory při praktických zkouškách projevil jako velice vhodný kmitočet mezi 80 až 150 Hz.

Výkonový tranzistor T1 je nutno galvanicky oddělit od chladiče, pokud chladič bude mechanicky spojen s kovovou skříňkou. Chladič je společný i pro diodový můstek, který by se bez chlazení „uvařil“ (nevratně zničil). Nepoužijete-li bezpečnostní transformá-

tor a nabíječ bude vestavěn v kovové skřínce, je nutno použít třípramennou flexošňůru o průřezu 3x 0,5 mm<sup>2</sup>. Je ovšem možné použít i plastovou skříňku - např. firmy BOPLA. Deska s plošnými spoji je však navržena na rozměr skříňky uvedený na začátku odstavce.

Součástky byly voleny ve většině případů jako běžně dostupné na součástkovém trhu Ostravska. Elektrolytické kondenzátory jsou běžného radiálního provedení. Výkonový rezistor R15 je osazen nad deskou s plošnými spoji asi 5 mm (pro lepší odvod tepla). Ve skřínce je nutno vyvrtat odvětrávací otvory.

Při nabíjecích proudech okolo 4 A lze použít za někdy méně dostupný diodový můstek KBU8D diodový můstek KBU6D (6M). Deska s plošnými spoji je navržena pro maximální nabíjecí proud 9 až 10 A za podmínky, že budou spoje pocínovány. Pokud se konstruktér rozhodne pro tuto úpravu, je nutná výměna diodového můstku za „silnější typ“ (10 až 25 A), výměna IO2 za LM78L06 a změna odporu R12 na 27 k $\Omega$ . K tomu by bylo nutno přizpůsobit i napájecí transformátor (sekundární napětí 18 V/10 A) a zdvojit elektrolytické kondenzátory C1 a C2. Všele doporučuji však využívat nabíjecí proudy jen do rozsahu 6 A. Nabíjecí čas se jen nepatrně prodlouží, ale akumulátoru to nesporně prospěje.

Stavebnici neosazeného nabíječe dodává Hadex, s.r.o., p. Jiří Axman, Kosmova 6, 701 00 Ostrava-Přívov.

### Literatura

Aplikační listy LM324.  
AR řady A, č. 10/1992.  
Konstrukční katalog SGS Thomson.  
Katalog GM electronic.  
Aplikační zapojení IO TESLA.

Případné dotazy a zkušenosti s nabíječkou lze zaslat na:

Ing. Zdeněk Zátapek, Zimmlerova 27,  
700 30 Ostrava-Zábřeh.

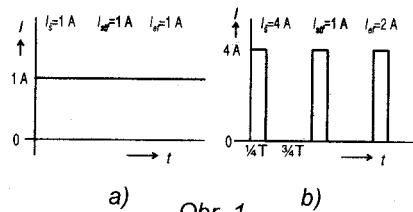
## Jak ocejchovat měřidlo k nabíječce?

Při nabíjení akumulátorů nás zajímá dodaný náboj v ampérhodinách – tomu odpovídá střední (nikoli efektivní) hodnota proudu. Proto při měření na impulsních nabíječkách vystačíme s obyčejným ručkovým nebo číslicovým měřidlem.

V předchozím článku byla zmínka o ocejchování měřidla. Použijete-li běžné ručkové měřidlo, je situace velmi jed-

noduchá – tato měřidla již z principu měří střední hodnotu procházejícího proudu. Proto stačí ocejchovat měřidlo stejnosměrným proudem. Obdobně postupujeme při použití číslicového panelového měřidla, opatřeného vhodným bočníkem. Podmínkou však je, aby měřidlo bylo na vstupu opatřeno článkem RC s dostatečně velkou časovou konstantou. Ta musí být o několik řádů větší než je perioda impulsů měřeného proudu.

Výkon ztracený na předřadných rezistorech nebo bočnicích však může být podstatně větší, než by napovídal pro-



Obr. 1.

stý součin napětí a proudu, změřený jednoduchým přístrojem. Měříme-li stejnosměrný proud podle obr. 1a a impulsní proud podle obr. 1b, naměříme sice stejný střední proud, avšak výkon, ztracený na bočniku, je v druhém případě čtyřnásobný!

JB



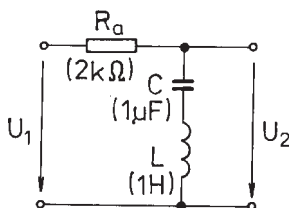
# Pásmová zadrž s neideální indukčností

Josef Punčochář

V [1] bylo demonstrováno využití počítačů při analýze elektronických obvodů. Na str. 54 byla předvedena analýza pásmové zadrž, při čemž bylo využito indukčnosti s podstatným sériovým odporem. Autor [1] však nedosáhl úplné shody u všech tří uvedených zapojení. To komentuje i větou: **“Bud’ bylo při návrhu něco opomenuto, anebo se projevují omezení daná operačním zesilovačem.”**

## Základní úvahy

Skutečně, něco bylo opomenuto, což se pokusím stručně doložit. Jako „referenční“ zapojení je použita klasická struktura RLC na obr. 1 - s ideální indukčností  $L$ . Ideální v tom smyslu, že odpor  $R_a$  je „samostatný“, není nedílnou součástí cívky realizující  $L$  nebo obvodu, který tuto cívku nahrazuje.



Obr. 1. Pásmová zadrž s ideální indukčností

Přenos frekvenčně závislého děliče určíme snadno ( $p = j\omega$  pro ustálené stavy)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{pL + 1/(pC)}{R_a + pL + 1/(pC)} = \frac{p^2 + 1/(LC)}{p^2 + pR_a/L + 1/(LC)} \quad (1)$$

Srovnáme vztah (1) s normovaným vztahem pro přenos  $P_{PZ}$  všech pásmových zadrž 2. řádu

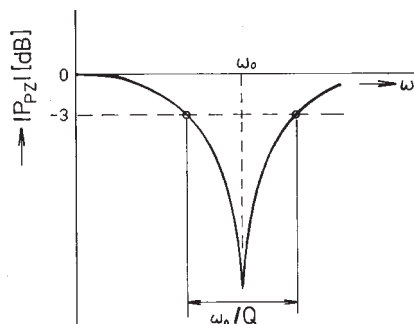
$$P_{PZ} = \frac{p^2 + \omega_0^2}{p^2 + p\omega_0/Q + \omega_0^2} \quad (2)$$

Analýzou modulu přenosu zjistíme, že je nulový právě na frekvenci  $\omega = \omega_0$  ( $p^2 = -\omega_0^2$ ), kdy nabývá číselná nulová hodnota. Pro  $\omega \rightarrow \infty$  a  $\omega \rightarrow 0$  je  $P_{PZ} = 1$  (0 dB). Dále zjistíme, že číselník jakosti  $Q$  definuje šířku pásma pro pokles přenosu o 3 dB - obr.2.

Ze srovnání vztahů (1) a (2) je zřejmé, že

$$\omega_0^2 = 1/(LC) \quad (3)$$

$$\omega_0/Q_a = R_a/L$$



Obr. 2. Modul přenosu  $|P_{PZ}|$  pásmové zadrž 2. řádu

tudíž

$$Q_a = \omega_0 L / R_a = \sqrt{L/C} / R_a \quad (4)$$

Pro  $R_a = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $L = 1 \text{ H}$  a  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$  [1] dostaneme

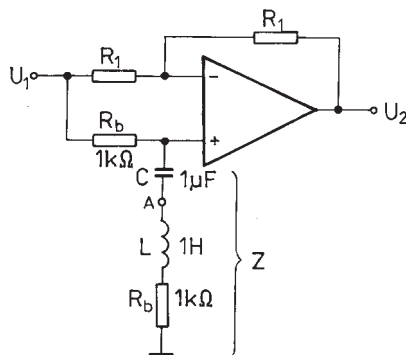
$$Q_a = \sqrt{1/10^{-6}} / 2 \cdot 10^3 = 0,5;$$

$$\omega_0 = 1/\sqrt{10^{-6}} = 1000 \text{ rad/s}$$

$$\text{a tedy } f_0 = \omega_0 / (2\pi) = 159,15 \text{ Hz.}$$

Druhá analyzovaná struktura je na obr. 3. Využívá indukčnosti, jejíž sériový odpor  $R_b$  může být značný a v obvodu je funkčně využit. Na frekvenci  $\omega_0$  totiž tvoří odpory  $R_1$ ,  $R_1$  a  $R_b$ ,  $R_b$  vyvážený můstek, do jehož diagonály jsou zapojeny vstupy operačního zesilovače. Pro uvedenou strukturu lze poměrně snadno odvodit [1, 2], že platí

$$U_2/U_1 = (Z - R_b)/(Z + R_b) \quad (5)$$



Obr. 3. Pásmová zadrž s neideální indukčností (s odporem  $R_b$ )

Dosadíme-li za  $Z = pL + 1/(pC) + R_b$ , dostaneme po úpravách pro přenos obvodu na obr. 3 vztah

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{p^2 + 1/(LC)}{p^2 + p2R_b/L + 1/(LC)} \quad (6),$$

ze kterého je zřejmé, že platí

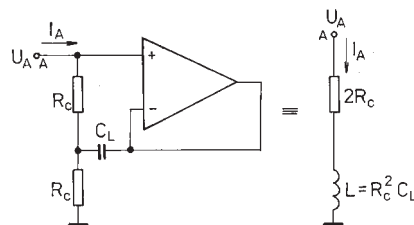
$$\omega_0^2 = 1/(LC); \quad 2R_b/L = \omega_0/Q_b$$

tedy

$$Q_b = \frac{\omega_0 L}{2R_b} = \frac{\sqrt{L/C}}{2R_b} \quad (7).$$

Aby číselník jakosti obvodu z obr. 1 ( $Q_a$ ) byl shodný s číselníkem jakosti obvodu z obr. 3 ( $Q_b$ ), musí platit  $R_b = R_a/2$ . Tuto podmínku autor [1] splnil, moduly obou přenosů také vyšly při analýze pomocí počítače stejné.

Indukčnost se sériovým odporem  $R_b$  lze ovšem realizovat pomocí struktury RC (syntetická indukčnost, neideální gyrátor) na obr. 4. Ekvivalentní



Obr. 4. Syntetická indukčnost se sériovým odporem  $2R_c$

vstupní impedance  $2R_c + j\omega R_c^2 C_L$  je odvozena např. v [2, 3]. Mají-li být splněny podmínky na obr. 3, musí vždy platit

$$R_b = 2R_c \quad (R_c = R_b/2).$$

Mají-li být zachovány vlastnosti z obr. 1, musí platit pro stejný číselník jakosti  $Q$  a stejný  $\omega_0$  (při dodržení původních  $L$  a  $C$ )

$$R_b = R_a/2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_c = R_b/2 = R_a/4 = 500 \text{ }\Omega$$

$$L = R_c^2 C_L = 1 \text{ H}$$

odtud

$$C_L = L/R_c^2 = 16L/R_a^2 = 4 \text{ }\mu\text{F}.$$

Tyto podmínky již splněny nebyly. Autor [1] ve třetím případě volil

$$R_b = 2 \text{ k}\Omega,$$

$$R_c = 1 \text{ k}\Omega,$$

$$C_L = 1 \text{ }\mu\text{F}.$$

Podmínka  $R_c = R_b/2$  je sice splněna, ale neplatí  $R_b = R_a/2$ . Pro tyto poměry lze určit, že  $L = R_c^2 C_L = (10^3)^2 \cdot 10^{-6} = 1 \text{ H}$ ,  $f_0$  tedy zůstane zachováno, ale

$$Q_c = \frac{\sqrt{L/C}}{2R_b} = \frac{10^3}{4 \cdot 10^3} = 0,25.$$

Proti poměrům na obr. 1 je tak dosaženo polovičního číselníku jakosti, jak je to konečně zřejmé i z počítačové analýzy, uvedené v [1]. Program pracuje správně, nedokončeny jsou pouze teoretické rozvahy uživatele programu.

Shrneme-li stav z obr. 3 a obr. 4, obdržíme schéma na obr. 5. Pro  $R_b = 2R$ ,  $R_c = R_b/2 = R$  a  $L = R^2 C_L$  snadno určíme ze vztahu (3)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{R\sqrt{C_L}} \quad (8)$$

a ze vztahu (7)

$$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{2R_b} = \frac{\sqrt{R^2 C_L / C}}{4R} = 0,25 \sqrt{C_L / C} \quad (9).$$

Byl-li již pevně zvolen  $R = 1 \text{ k}\Omega$  a požaduje se  $\omega_0 = 1000$  a  $Q = 0,5$  (tedy shoda přenosu s obr. 1, nikoli již nutně shoda  $C$  a  $L$ ), musíme vycházet z posledních vztahů. Ze vztahu (9) plyne, že musí platit

$$C_L / C = 16Q^2 = (Q=0,5) = 4, \text{ tedy}$$

$$C_L = 16Q^2 C = (Q=0,5) = 4C.$$

Ze vztahu (8) potom dostaneme obecně

$$\omega_0 = \frac{1}{R\sqrt{C_L 16Q^2 C}} = \frac{1}{RC4Q}.$$

Byl-li již pevně zvolen  $R$ , nezbyvá než dopočítat

$$C = \frac{1}{4Q\omega_0 R} = \frac{1}{4 \cdot 0,5 \cdot 1000 \cdot 1000} = 500 \text{ nF}$$

a dále

$$C_L = 4C = 2 \text{ }\mu\text{F}.$$

Pro určené  $C = 500 \text{ nF}$  a  $C_L = 2000 \text{ nF}$  snadno zkapitulujeme, že  $L = R^2 C_L = 2 \text{ H}$ ; dále

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 1/\sqrt{20,5 \cdot 10^{-6}} = 10^3 \text{ rad/s},$$

$$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{2R_b} = \frac{\sqrt{2/0,5 \cdot 10^{-6}}}{2 \cdot 2 \cdot 10^3} = 0,5.$$

Je tedy dosaženo shodných přenosových vlastností jako na obr. 1, i když jsou  $L$  a  $C$  nyní jiné.

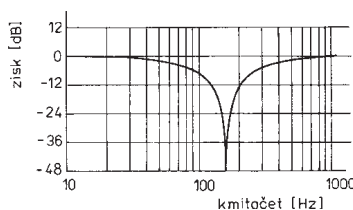
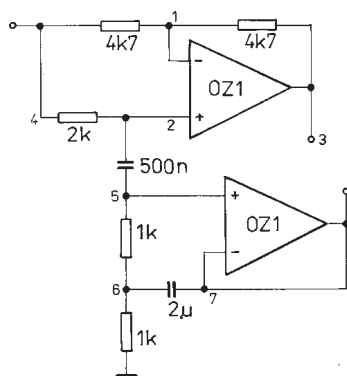
### Návrh pásmové zadržky

Je zřejmé, že právě popsaný postup analýzy umožňuje následující **algoritmus návrhu zadržky** (syntézy) podle obr. 5 (požaduje se  $Q$ ,  $\omega_0$ ):

- **zvol odpor  $R$**  (podle typu použitého OZ od  $1 \text{ k}\Omega$  do několika  $\text{M}\Omega$ ),
- **urči  $C = 1/(4Q\omega_0 R)$** ; pokud je  $C$  menší než asi  $100 \text{ pF}$ , vol menší  $R$ ,
- **urči  $C_L = 16Q^2 C = 4Q/(\omega_0 R)$** .

Zvolíme-li pro kontrolu  $R = 1 \text{ k}\Omega$  a požadujeme  $\omega_0 = 1000 \text{ rad/s}$  a  $Q = 0,5$ , dostaneme pomocí uvedeného postupu  $C = 1/(4 \cdot 0,5 \cdot 10^3 \cdot 10^3) = 500 \text{ nF}$ ,  $C_L = (4 \cdot 0,5)/(10^3 \cdot 10^3) = 2000 \text{ nF}$ . Příklad analýzy pomocí programu MCII je na obr. 6.

Obr. 5. Pásmová zadržka se syntetickou indukčností (neideální);  $R_1 \sim 4R$

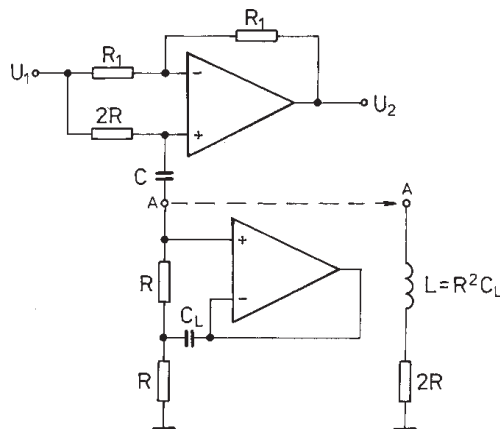


Obr. 6. Analýza problému pomocí programu MCII (OZ1 typu MAA741,  $\mu\text{A741}$ , ...)

Zvolíme-li (při stejných požadavcích na činitel jakosti a charakteristickou frekvenci)  $R = 10 \text{ k}\Omega$ , dostaneme naprosto stejným postupem  $C = 50 \text{ nF}$  a  $C_L = 200 \text{ nF}$ , tedy kapacity kondenzátorů desetkrát menší - to je za dané situace asi příhodnější.

### Závěr

Ani výpočetní technika nevyloučí potřebu podrobné a často náročné klasické analýzy elektronických obvodů. Při ověřování výsledků pak může počítač být (a jistě je) neocenitelným



pomocníkem. Poskytuje dnes výsledky, které velmi dobře odpovídají laboratorním experimentům. Není-li však uživatel na tyto výsledky „připraven“, mohou být interpretovány nepřesně, vedou k mylným závěrům.

Náhodné tápání „čistě empirického konstruktéra“ se tak pouze přesune od pracovního stolu s „hnízdem a páječkou“ k pracovnímu stolu s klávesnicí a monitorem. V prvním i druhém případě je málokdy dosaženo optimálního výsledku, ať jsou použité komponenty sebedražší.

Sebelepší odborník v oblasti výpočetní techniky se tak nikdy nemusí dopracovat k výsledkům, které odpovídají ceně použité techniky, ceně použitých programů a vynaloženému času. Moderní struktury i programy poskytují tolik stupňů volnosti, že jakékoli vodítko darované výsledky klasických analýz je vítáno. To právě umožní řešiteli cílevědomě a efektivně zkoumání problému, nikoliv jen již zmíněné tápání.

### Literatura

- [1] Lániček, P.: Počítačová simulace elektronických obvodů. A Radio-Konstrukční elektronika, ročník II (1997), č. 2.
- [2] Punčochář, J.: Operační zesilovače v elektronice. BEN - technická literatura: Praha 1996 (I. a II. vydání), 1997 (III. vydání, opravené).
- [3] Punčochář, J.: Pásmová zadržka se syntetickou indukčností. Sdělovací technika č. 2/1980, s. 49-51.

### Vážení čtenáři,

jak bylo již napsáno v úvodu k tomuto číslu Konstruktivní elektroniky, bude tematika v tom rozsahu, jak je v úvodu slíbena, dokončena v Konstruktivní elektronice č. 2/1998, které vyjde na přelomu března a dubna 1998. Nezapomeňte si včas toto i ostatní čísla KE zajistit.

### Upozornění

Byli jsme naším čtenářem, ing. Jiřím Štefanem z Prahy, upozorněni, že v konstrukci zesilovače s LM3886 z Konstruktivní elektroniky č. 6/96 (str. 220) je třeba spojit vývod 5 IO s kladným pólem napájecího napětí, neboť jinak je výstupní signál již asi od 5 W nesouměrně omezován. Další IO z této řady (např. LM3876) toto spojení nevyžadují.

Děkujeme našemu čtenáři za upozornění.

Redakce